

repository.ub.ac.id

**SIMULASI PENGARUH VARIASI DIAMETER *BUNSEN BURNER*
TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX* GAS METANA**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



PIPIT RUNNITA MELINDA SARIN

NIM. 145060201111057

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI PENGARUH VARIASI DIAMETER *BUNSEN BURNER* TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX* GAS METANA

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



PIPIT RUNNITA MELINDA SARIN

NIM. 145060201111057

Jurnal ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.
NIP 19710321 199802 1 001

Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
NIP 19720817 200003 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

**SIMULASI PENGARUH VARIASI *DIAMETER BUNSEN BURNER* TERHADAP
KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX* GAS METANA**

Nama Mahasiswa : Pipit Runnita Melinda Sarin
NIM : 145060201111057
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Purnami, ST., MT.

Tanggal Ujian : 4 Juli 2018
SK Penguji : 1335/UN10.F07/SK/2014

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 Juli 2018
Mahasiswa,

Pipit Runnita Melinda Sarin
NIM. 145060201111057



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 106/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

PIPIT RUNNITA MELINDA S

Dengan Judul Skripsi :

**SIMULASI PENGARUH VARIASI DIAMETER BUNSEN BURNER TERHADAP
KARAKTERISTIK NYALA API PREMIX GAS METANA**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **17 JULI 2018**

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayahanda dan Ibunda Tercinta*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT karena atas limpahan nikmatnya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Simulasi Pengaruh Variasi Diameter *Bunsen Burner* terhadap Karakteristik Nyala Api *Premix* Gas Metana”.

Pada proses penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada banyak pihak diantaranya:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Agung Sugeng, ST., MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing I yang telah memberi bimbingan serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Moch Agus Choiron., ST., MT., selaku dosen pembimbing II yang telah memberi saran dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini
5. Kepada Bapak Kaserun dan Ibu Sumarningsih sebagai orang tua penulis, Partini nenek penulis, dan Sentya selaku sepupu penulis yang telah memberikan doa, dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberi ilmu selama perkuliahan
7. Keluarga Besar Laboratorium SPRS FT UB (Isfan, Ilyas, Dewi) terimakasih atas bantuannya.
8. Sahabat yang hidup seataap (Maike, Stefani, Lusi), Teman-teman Kingdom, Teman teman Putri Mesin 2014, mbak mbak mesin 2012, 2013 dan adik adik putri mesin 2015, 2016, Dan Teman-teman M14 Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
9. Sahabat senasib sepenanggungan (Efrida, Saut, Gregorius).
10. Sahabat baru penulis (Mas Angga, Mbak Agustin, Mas Samsul, Mas Mahmud, Mas Saini) yang sering menghibur penulis.
11. Terimakasih motivator penulis Ahsannurijal yang selalu membantu dan pendukung penulis.
12. Dan semua teman-teman yang telah mendoakan kelancaran penulis.

Penulis menyadari laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang dapat membantu perkembangan pembahasan terkait laporan penelitian ini maupun bagi penulis sendiri. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan bagi perkembangan keilmuan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Malang, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Proses dan Pembakaran	5
2.3 Klasifikasi Pembakaran	6
2.3.1 Berdasarkan Cara Reaktan Terbakar pada Zona Reaksi	6
2.3.2 Berdasarkan Perilaku Aliran Reaktan pada saat Melewati Zona Reaksi	8
2.3.3 Berdasarkan Keadaan Fisik Awal dari Bahan Bakar	8
2.4 Karakteristik Nyala Api	9
2.5 Api <i>Premixed</i> Laminer	10
2.6 <i>Air Fuel Ratio</i> (AFR)	12
2.7 Kestabilan Nyala Api	14
2.8 <i>Equivalence Ratio</i> (Φ)	15
2.9 <i>Bunsen Burner</i>	15
2.10 <i>Reynolds Number</i>	15
2.11 Metana	16
2.12 Simulasi Numerik	16
2.13 CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>)	17
2.14 Pemodelan Pembakaran pada CFD	19
2.15 Kondisi Batas Pemodelan Pembakaran dalam <i>Computational Fluid Dynamic</i> ...	21

2.16 Hipotesis.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Metode Penelitian.....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2.1 Tempat Penelitian	27
3.2.2 Waktu Penelitian	27
3.3 Variabel Penelitian	27
3.4 Prosedur Penelitian.....	29
3.5 Diagram Alir Penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Visualisasi Nyala Api	33
4.2 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api	39
4.2.1 Pengolahan Data Visual	39
4.2.2 Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api	39
4.3 Pembahasan.....	41
4.3.1 Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Kecepatan Api Laminer	41
4.3.2 Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Temperatur Api Laminer.....	42
4.3.3 Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Tinggi Api	46
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 8 mm	33
Tabel 4.2	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 9 mm	33
Tabel 4.3	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 10 mm	34
Tabel 4.4	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 11 mm	34
Tabel 4.5	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 12 mm	34
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api Masing-Masing Variasi Diameter <i>Bunsen Burner</i>	35
Tabel 4.7	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 8 mm	36
Tabel 4.8	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 9 mm	36
Tabel 4.9	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 10 mm	36
Tabel 4.10	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 11 mm	37
Tabel 4.11	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> diameter 12 mm	37
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api Masing-Masing Variasi Diameter <i>Bunsen Burner</i>	38
Tabel 4.13	Verifikasi Data Simulasi Numerik.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Reaksi pembakaran	7
Gambar 2.2	Pembakaran <i>premix</i>	8
Gambar 2.3	Pembakaran difusi.....	8
Gambar 2.4	(a) Api <i>premix</i> laminar; (b) Api <i>premix</i> turbulen	9
Gambar 2.5	Detail struktur di dalam api <i>premixed</i>	10
Gambar 2.6	Struktur api laminar	11
Gambar 2.7	Skema nyala api pada <i>bunsen burner</i>	12
Gambar 2.8	Pembagian dan panjang <i>control volume</i>	18
Gambar 2.9	Kondisi batas pemodelan	22
Gambar 2.10	Diagram alir metode SIMPLE	24
Gambar 3.1	Desain <i>bunsen burner</i>	28
Gambar 3.2	<i>Geometry combustor</i>	29
Gambar 3.3	Pengaturan <i>meshing</i>	30
Gambar 3.4	<i>Geometry meshing</i> dan penamaan pada <i>meso-scale combustor</i>	30
Gambar 3.5	Proses <i>setup boundary condition</i>	31
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Nyala api <i>bunsen burner</i> pada diameter 8 mm dengan variasi ekuivalen rasio pada pengujian eksperimental	33
Gambar 4.2	Nyala api <i>bunsen burner</i> pada diameter 8 mm dengan variasi ekuivalen rasio pada simulasi	35
Gambar 4.3	Nyala api <i>bunsen burner</i> pada variasi diameter dengan ekuivalen rasio 1,68.....	36
Gambar 4.4	Pengolahan data karakteristik nyala api <i>bunsen burner</i> pada diameter 8 mm dengan ekuivalen rasio 1,0	39
Gambar 4.5	Hubungan ekuivalen rasio terhadap kecepatan api laminar.....	41
Gambar 4.6	Range temperatur diameter 8 mm ekuivalen rasio 0,74	42
Gambar 4.7	Range temperatur diameter 9 mm ekuivalen rasio 0,74	43
Gambar 4.8	Range temperatur diameter 10 mm ekuivalen rasio 0,74	43
Gambar 4.9	Range temperatur diameter 11 mm ekuivalen rasio 0,74	44
Gambar 4.10	Range temperatur diameter 12 mm ekuivalen rasio 0,74	44
Gambar 4.11	Hubungan ekuivalen Rasio terhadap Temperatur Api.....	45
Gambar 4.12	Hubungan ekuivalen Rasio terhadap Tinggi Api.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar Data Visualisasi Temperatur Api dengan Ansys
- Lampiran 2 Pengolahan Data Visualiasi Sudut dan Tinggi Api dengan Ansys
- Lampiran 3 Tutorial Simulasi Numerik *Bunsen Burner*



RINGKASAN

Pipit Runnita Melinda Sarin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Simulasi Pengaruh Variasi Diameter Bunsen Burner terhadap Karakteristik Nyala Api Premix Gas Metana*, Dosen Pembimbing: Agung Sugeng Widodo dan Moch Agus Choiron.

Gas alam sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, batu bara maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil. Perlunya bahan bakar alternatif karena semakin banyaknya alat-alat teknologi yang beralih ke gas alam. Wardana (2008) mengungkapkan dalam gas alam, terkandung kurang lebih 96% gas metana (CH_4). Berdasarkan penelitian tersebut sangat perlu mendapatkan ilmu dan pengetahuan tentang karakteristik dan sifat pembakaran yang baik untuk metana.

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik, banyak kelebihan yang dapat disajikan dalam menyelesaikan masalah terutama dalam dunia engineering. Pada proses pembakaran kecepatan api dapat berpengaruh pada mekanisme nyala api gas metana, untuk dapat mengetahui reaksi pembakaran dapat menggunakan piranti *bunsen burner*. Pada penelitian ini dilakukan lima variasi ukuran diameter *bunsen burner* yaitu 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm dan 12 mm untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik nyala api dengan diuji menggunakan variasi ekuivalen rasio 1,05; 1,12; 1,23; 1,36; 1,49 dan 1,68.

Hasil dari penelitian ini adalah variasi diameter *bunsen burner* memiliki pengaruh terhadap karakteristik nyala api. Kecepatan api laminar akan semakin kecil seiring bertambahnya ukuran diameter, tinggi api dan temperatur api akan semakin rendah seiring semakin besar ukuran diameter *bunsen burner*. Berdasarkan pengujian dengan nilai ekuivalen rasio maka tinggi api akan semakin naik, kecepatan dan temperatur api akan turun seiring dengan kenaikan nilai ekuivalen rasio. Dari data yang dihasilkan dari proses simulasi menunjukkan trendline yang hampir sama dengan hasil pengujian secara eksperimental hanya nilainya lebih tinggi hal ini disebabkan hasil simulasi tidak terpengaruh faktor lain seperti heatloss ataupun lainnya.

Kata Kunci: *Bunsen burner*, ekuivalen rasio, karakteristik nyala api, metana

SUMMARY

Pipit Runnita Melinda Sarin, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2017, The Simulation of Effect of Variation Bunsen Burner's Diameters to The Characteristics Premixed Flames of Methane Fuel, Academic Supervisor: Agung Sugeng Widodo and Moch Agus Choiron.*

Natural gas is suitable for use as an environmentally friendly alternative to kerosene, LPG, coal and other fossil materials. The alternative fuels is due to the increasing number of technological tools that are turning to natural gas. Wardana (2008) revealed in natural gas, contained approximately 96% methane gas (CH_4). Based on these studies it is necessary to gain knowledge and knowledge about the characteristics and properties of good combustion for methane.

This research uses numerical simulation method, many advantages that can be presented in solving problems especially in the world of engineering. One of them is the field of energy conversion that is the combustion process. In the combustion process the flame velocity can affect the flame mechanism of methane gas, to be able to know the combustion reaction can use bunsen burner tool. This research, used five variations of bunsen burner diameter were 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm and 12 mm to determine the effect on flame characteristics tested by variation of equivalent ratio of 0.67; 0.74; 1.0; 1.35; 1.49; and 1.69.

The result of this research is variation of bunsen burner diameter have influence to flame characteristic. The laminar flame speed will be smaller as the diameter increases, the flame height and flame temperature will be decreased when the bunsen burner diameter was increasing. Based on the examine with increasing the ratio equivalent, the flame's height will increase, then the laminar flame speed and temperature will decrease. From the data generated from the simulation process shows a trendline that is almost the same as the experimental test results only higher value this is because the simulation results are not affected by other factors such as heatloss or other.

Keywords: Bunsen burner, flame characteristic, the ratio equivalent, methane

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LatarBelakang

Pada saat ini perkembangan teknologi semakin berkembang, khususnya dalam bidang konversi energi yang kita pelajari saat ini yaitu teknologi pembakaran. Teknologi Pembakaran adalah salah satu cabang dari ilmu termo fluida terapan yang digunakan untuk mempelajari dan menganalisis tentang proses pembakaran (*combustion*), bahan bakar (*fuel*), serta sifat nyala api (*flame*). Bahan bakar yang diteliti dalam tinjauan pembakaran dapat merupakan bahan bakar gas, cair atau padat. Pembakaran secara umum dapat diartikan sebagai suatu reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidaasi (oksigen/udara) yang menghasilkan panas dan cahaya (Wardana, 2008).

Gas alam sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, batu bara maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil. Perlunya bahan bakar alternatif karena semakin banyaknya alat-alat teknologi yang beralih ke gas alam. Wardana (2008) mengungkapkan dalam gas alam, terkandung kurang lebih 96% gas metana (CH_4). Berdasarkan penelitian tersebut sangat perlu mendapatkan ilmu dan pengetahuan tentang karakteristik dan sifat pembakaran yang baik untuk metana.

Reaksi pembakaran merupakan hal yang biasa yang sering terjadi dalam kehidupan sehari-hari, baik terjadi dalam industri maupun rumah tangga. Untuk memperoleh hasil pembakaran yang sempurna dan efisien, maka perlu diketahui karakteristik pembakaran dari bahan bakar tertentu dan pada rasio campuran udara dan bahan bakar tertentu. Untuk mengetahui hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui reaksi pembakaran yang sesuai.

Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari tahap awal yaitu penyalaan dimana keadaan transisi dari tidak reaktif menjadi reaktif karena dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi thermal yang merupakan transfer energy termal kereaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut.

Untuk mengetahui karakteristik nyala api dalam reaksi pembakaran maka dibutuhkan alat pengujian, terdapat berbagai macam alat yang dapat digunakan untuk mengetahui

karakteristik nyala api tersebut, salah satunya adalah *bunsen burner*. *Bunsen burner* adalah suatu alat pembakaran yang menghasilkan nyala api tunggal dan terbuka.

Chris Janwar (2016) penelitian tentang karakteristik nyala api gas LPG menggunakan *bunsen burner* dengan diameter dalam 6 mm. Akan tetapi pada penelitian ini, diameter *bunsen burner* hanya digunakan sebagai variable yang terkontrol, namun saat ini belum diperoleh secara jelas ukuran diameter *bunsen burner* yang terstandarisasi.

Yong et all (2011) melakukan penelitian tentang karakteristik nyala api pada *synthetic gas*(*syngas*) menggunakan pengukuran eksperimental dan simulasi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *bunsen burner* dengan pengukuran pada daerah flame. Yong et all (2011) menjelaskan secara umum prediksi dengan kedua mekanisme tersebut sesuai dengan pengukuran terutama untuk kondisi bahan bakar yang stokiometri, penelitian dengan simulasi memberikan hasil yang lebih baik mendekati dengan hasil eksperimental.

Semakin besar ukuran diameter *bunsen burner* kecepatan apinya semakin rendah, suhu yang semakin rendah mempengaruhi tinggi api yang juga semakin rendah. Dari permasalahan tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang karakteristik nyala api *premixed* menggunakan *bunsen burner* dengan memvariasikan diameter agar diperoleh diameter yang sesuai untuk pengujian karakteristik nyala api *premixed*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan pada latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah, tentang “Bagaimana pengaruh *bunsen burner* dengan variasi diameter terhadap karakteristik nyala api *premixed* gas metana”?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian sebagai berikut.

1. Tidak ada *Losses* pada instalasi aliran
2. Temperatur ruangan pada saat dilakukan pengujian adalah 27°C
3. Tekanan dalam ruangan dianggap 1 atm
4. Udara dan bahan bakar dianggap telah bercampur secara sempurna
5. *Software* yang digunakan untuk simulasi adalah ansys

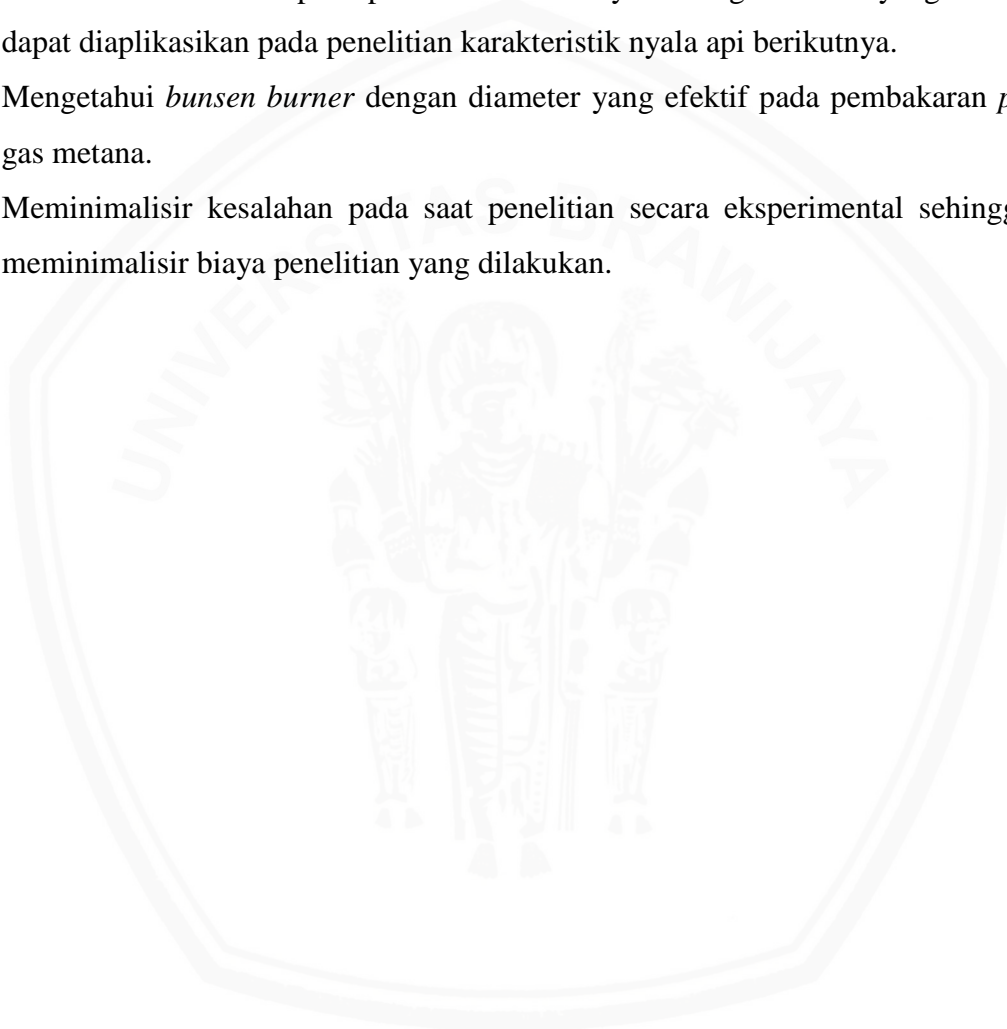
1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *bunsen burner* dengan variasi diameter terhadap karakteristik nyala api *premixed* dengan bahan bakar gas metana.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan referensi pada penelitian berikutnya tentang diameter yang efektif untuk dapat diaplikasikan pada penelitian karakteristik nyala api berikutnya.
2. Mengetahui *bunsen burner* dengan diameter yang efektif pada pembakaran *premixed* gas metana.
3. Meminimalisir kesalahan pada saat penelitian secara eksperimental sehingga dapat meminimalisir biaya penelitian yang dilakukan.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Tamadonfar dan Gülder (2016) dalam penelitiannya menganalisa tentang efek dari pengaruh diameter *bunsen burner* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* turbulen. Dalam percobaannya dilakukan variasi pada diameter *bunsen burner* yaitu 11,1 mm dan 22,2 mm dengan variasi *equivalence ratio*. Hasil dari penelitian tersebut adalah kecepatan pembakaran api turbulen lebih tinggi seiring dengan besarnya diameter *bunsen burner*.

Janwar (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik nyala api pada *bunsen burner* dan *slot burner* dengan menggunakan bahan bakar LPG. Hasil dari penelitiannya dengan menggunakan celah *slot burner* 3 mm x 9 mm, ukuran diameter 6 mm. dan dengan variasi *equivalen ratio* menyatakan kecepatan api laminar pada *bunsen burner* lebih rendah dari *slot burner*, tinggi api *bunsen burner* lebih tinggi dibandingkan *slot burner*, dan temperature *bunsen burner* lebih rendah dibandingkan *slot burner*.

Zhen et all. (2014) pada jurnalnya meneliti tentang karakteristik api *premixed* dari campuran biogas-hidrogen dengan menggunakan *bunsen burner*. Dalam penelitiannya dilakukan dengan menghubungkan efek penambahan hidrogen pada biogas dan fraksi hidrogen dalam campuran biogas-hidrogen terhadap perubahan stabilitas api, karakteristik termal dan emisi pembakaran pada biogas menggunakan *bunsen burner* dengan diameter dalam sebesar 9 mm. Jumlah *equivalence ratio* pada penelitian ini divariasikan dari 0,8 sampai 1,2 dengan variasi fraksi hidrogen pada campuran biogas-H₂ adalah sebesar 10% sampai 50%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada penambahan hidrogen dan peningkatan fraksi hydrogen dalam campuran bahan bakar ada yang sesuai dengan stabilitas api, sehinggalsemakin besar fraksi hidrogen pada campuran biogas-H₂ maka terjadi peningkatan temperatur api dan terjadi penurunan nilai emisi CO.

Kurniawan (2017) meneliti tentang pengaruh variasi diameter *bunsen burner* terhadap karakteristik nyala api premix gas metana secara eksperimental. Pada penelitiannya *bunsen burner* dibuat dari material kuningan dimana diameter dalam divariasikan sebesar 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm, 12 mm dengan panjang *bunsen burner* 100 mm, dan ketebalan dindingnya 2 mm. Adapun hasil dari pengujiannya adalah sebagai berikut semakin besar ukuran dari diameter *bunsen burner* maka nilai dari kecepatan api laminar (S_L) akan semakin menurun, nilai tinggi api akan semakin menurun seiring kenaikan ukuran pada

diameter *bunsen burner*, semakin besar ukuran diameter *bunsen burner* suhu api akan menurun, dan semakin tinggi nilai dari ekuivalen rasio maka tinggi api semakin meningkat.

Yong He et al (2011) melakukan penelitian tentang karakteristik nyala api pada *synthetic gas* (*syngas*) menggunakan pengukuran eksperimental dan simulasi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *bunsen burner* dengan daerah nyala api, sedangkan simulasi dibuat dengan menggunakan CHEMKIN dengan dua mekanisme: GRI-Mech 3.0 dan USC-Mech II berbasis *planar laser-induced fluorescence* (OH-PLIF) dengan metode *bunsen* yang telah dilakukan pada percobaan sebelumnya. Secara umum prediksi dengan kedua mekanisme tersebut sesuai dengan pengujian yang dilakukan terutama pada kondisi bahan bakar yang stokiometri, simulasi dengan USC-Mech II memberikan hasil yang lebih baik mendekati dengan hasil eksperimental.

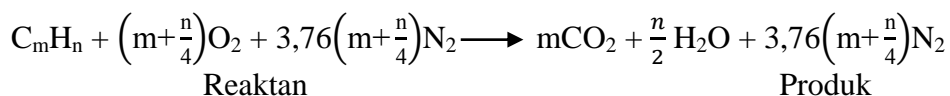
2.2 Proses dan Pembakaran

Pembakaran adalah suatu proses atau reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan oksidator (oksigen atau udara) dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) yang menghasilkan cahaya dan energi panas (Wardana, 2008). Energi aktivasi adalah energy minimum yang dibutuhkan untuk melangsungkan terjadinya suatu reaksi yang merupakan energi yang digunakan untuk mengaktifkan molekul bahan bakar. Energi aktivasi didapatkan dari pemantik yang memiliki tegangan tinggi atau dengan kompresi yang memiliki temperatur yang tinggi.

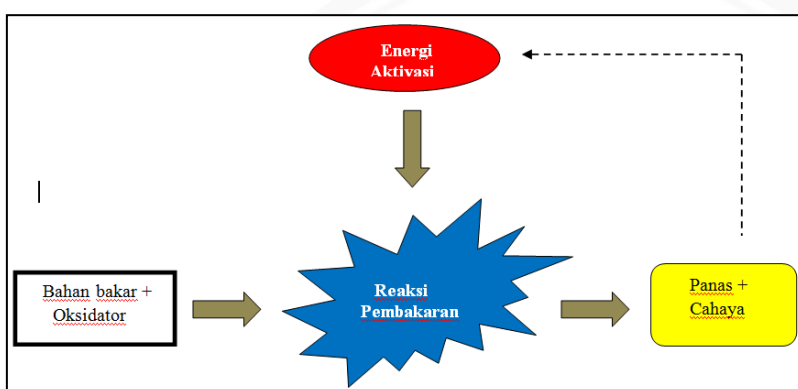
Proses pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar yang lebih ekonomis dan berkurangnya besar kepekatan asap hitam gas buang karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat seluruhnya terbakar dalam waktu dan kondisi yang tepat. Kualitas bahan bakar perlu diperhatikan agar sesuai dengan karakteristiknya agar didapatkan homogenitas campuran bahan bakar dengan udara yang dapat bercampur secara sempurna dan terjadi pembakaran yang sempurna. Kondisi ini disebut juga kondisi stokiometri yang mana produk dari hasil pembakaran senyawa hidrokarbon adalah CO_2 , H_2O , dan N_2 yang merupakan inert gas. Inert gas adalah suatu gas yang memiliki bentuk senyawa yang lebih stabil dimana gas tersebut tidak ikut bereaksi dengan oksigen maupun bahan bakar.

Proses reaksi pembakaran akan terjadi jika unsur bahan bakar teroksidasi. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi eksothermis. Jika jumlah oksigen yang dibutuhkan pada proses pembakaran dari udara, dimana udara itu sendiri tersusun atas 21% oksigen, 79% bahan bakar dan udara (oksidator) telah mendekati

kondisi stoikiometrik, dan api melepaskan panas di daerah pencampuran tersebut sudah cukup maka pembakarannya akan berlangsung. Maka reaksi stoikiometri pembakaran dari hidrokarbon murni C_mH_n dapat ditulis sebagai berikut.



Pada persamaan reaksi diatas dianggap sebagai reaksi ideal. Pada penelitian ini menggunakan gas metana (CH_4), persamaan kimia dari pembakaran stokiometri dari metana dengan udara:



Gambar 2.1 Reaksi pembakaran
Sumber: Wardana (2008:3)

2.3 Klasifikasi Pembakaran

Secara umum pembakaran diklasifikasikan menjadi tiga jenis karakter pembakaran yaitu karakter pertama berdasarkan jenis pembakaran yang di tentukan oleh cara reaktan yang terbakar pada zona reaksi, perilaku aliran reaktan saat melewati zona reaksi dan jenis pembakaran yang ditentukan oleh keadaan fisik awal bahan bakar.

2.3.1 Berdasarkan Cara Reaktan Terbakar pada Zona Reaksi

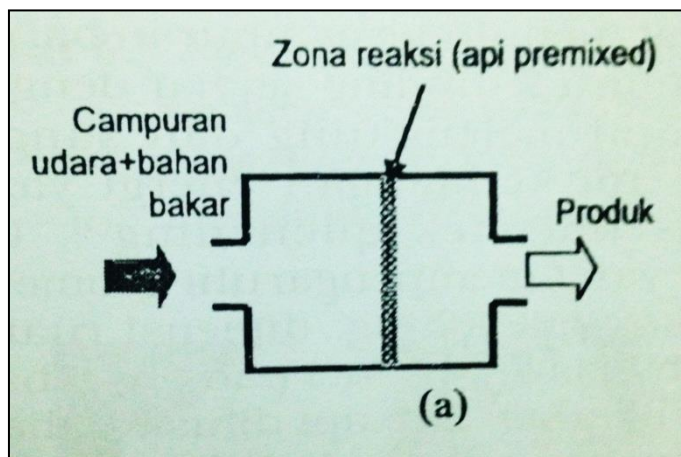
Cara reaktan terbakar pada zona reaksi dibagi menjadi dua yaitu pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi.

1. Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran yang terjadi pada bahan bakar dan oksidator (oksigen atau udara) telah tercampur terlebih dahulu sebelum terbakar pada zona reaksi. Dalam proses pembakaran *premixed*, bahan bakar lebih mudah terbakar

karena bahan bakar sudah bercampur dengan oksidator sehingga mempercepat proses reaksi.

Pada Gambar 2.2 proses pembakaran *premixed* dianggap lebih efektif dibandingkan pembakaran difusi karena proses pembakaran lebih cepat dan efisien, karena dalam keadaan stokiometri bahan bakar dapat terbakar secara sempurna dan tidak ada bahan bakar yang tersisa pada proses pembakaran.

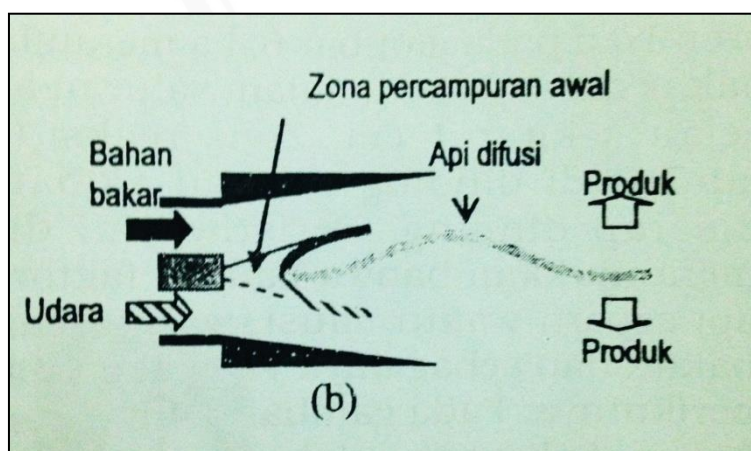


Gambar 2.2 Pembakaran *premix*
Sumber: Wardana (2008:149)

2. Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran yang mana bahan bakar dan oksidator tidak dicampur dengan cara mekanik, yang mana pada proses pencampurannya dilakukan secara alami dengan proses difusi. Pada pembakaran difusi, nyala api tergantung pada sifat bahan bakar dan kecepatan laju bahan bakar dengan udara.

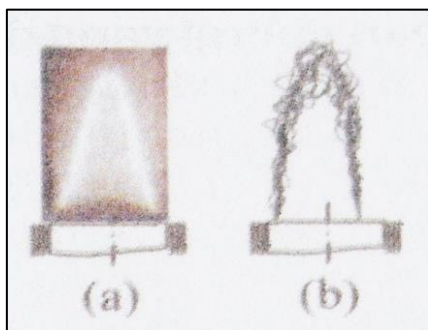
Pada Gambar 2.3 proses pembakaran secara difusi, pencampuran bahan bakar dan udara harus dalam keadaan mendekati stokiometri, agar panas dapat dilepaskan pada daerah percampuran yang cukup agar pembakaran dapat terjadi.



Gambar 2.3 Pembakaran difusi
Sumber: Wardana (2008:149)

2.3.2 Berdasarkan Perilaku Aliran Reaktan pada saat Melewati Zona Reaksi

Wardana (2008) menjelaskan dalam Gambar 2.4 bahwa pembakaran yang didasarkan pada perilaku reaktan yang melewati zona reaksi dibagi menjadi 2 yaitu pembakaran laminar dan pembakaran turbulen. Pembakaran laminar yaitu semua proses pencampuran dan proses jalannya reaktan atau panas yang terjadi secara molekuler. Pembakaran turbulen seluruh pencampuran dan proses perjalanan dibantu dengan gerakan pusaran aliran makro turbulen. Turbulensi akan meningkatkan kecepatan reaksi pembakaran.



Gambar 2.4 (a) Api *premix* laminar; (b) Api *premix* turbulen
Sumber: Wardana (2008)

2.3.3 Berdasarkan Keadaan Fisik Awal dari Bahan Bakar

Pembakaran yang didasarkan pada keadaan fisik awal bahan bakar adalah bahan bakar padat, cair maupun gas. Bahan bakar padat seperti batu bara, cair seperti bensin dan gas seperti metana yang dapat mempengaruhi pembakaran itu sendiri.

2.4 Karakteristik Nyala Api

Untuk karakteristik nyala api adalah sesuatu yang akan diamati pada penelitian yang nantinya akan dibandingkan pada suatu bahan bakar dengan bahan bakar yang lainnya.

Karakteristik nyala api yang akan diamati pada penelitian ini adalah:

1. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran yaitu temperatur dimana suatu zat atau material melepaskan uap yang cukup untuk membentuk campuran dengan udara yang ada sehingga terbakar.

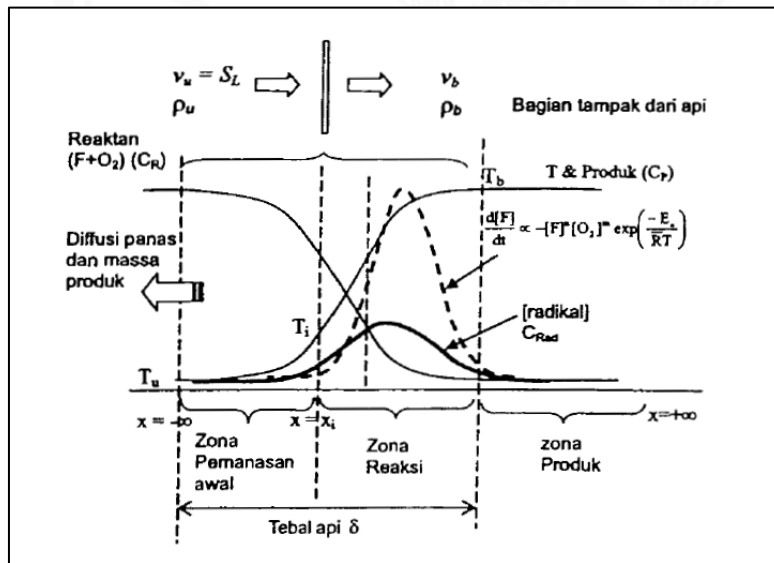
Temperatur pembakaran ditentukan oleh beberapa faktor, tergantung jenis bahan bakar dan oksidan yang digunakan. Untuk temperatur pembakaran dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar, temperatur pembakaran yang lebih tinggi diperoleh dengan oksigen yang digunakan sebagai oksidan bukan udara, karena didalam udara terdapat nitrogen yang dapat menurunkan suhu nyala api.

2. Dimensi api

Dimensi api dipengaruhi oleh reaksi pembakaran, jika dimensi apinya kecil maka reaksi pembakaran semakin cepat begitu pula sebaliknya jika dimensi apinya panjang dan lebar maka reaksi pembakarannya lambat hal ini disebabkan oleh reaksi pembakaran yang lama akan mempengaruhi waktu yang digunakan untuk bahan bakar dapat beroksidasi dan terbakar.

3. Kecepatan api

Pada api pembakaran terdapat gradien temperatur produk lebih tinggi daripada temperatur reaktan. Transfer kalor yang terus terjadi dapat meningkatkan temperatur reaktan. Saat temperatur reaktan meningkat pada daerah pada saat pemanasan awal maka akan bergeser ke arah kanan, dan temperaturnya semakin tinggi yang menyebabkan terjadinya proses pembakaran. Pada Gambar 2.5 menunjukkan daerah yang awalnya zona pemanasan awal akan berubah menjadi zona reaksi. Keaan yang berjalan secara terus menerus mengakibatkan api akan merambat menuju arah reaktan yang disebut juga kecepatan pembakaran. Pada pembakaran premixed biasanya disimbolkan dengan notasi S_L (Wardana, 2008).



Gambar 2.5 Detail struktur di dalam api *premixed*

Sumber: Wardana (2008)

Dengan pendekatan pada teori kinetik, pengaruh hubungan kecepatan dan temperatur dengan prinsip gas ideal dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \quad (2-1)$$

Sumber: Wardana (2008)

Keterangan:

m = Massa molekul

v = Kecepatan molekul

k = Konstanta Boltzmann ($1,380 \times 10^{-23}$ J/molekul $^{\circ}\text{K}$)

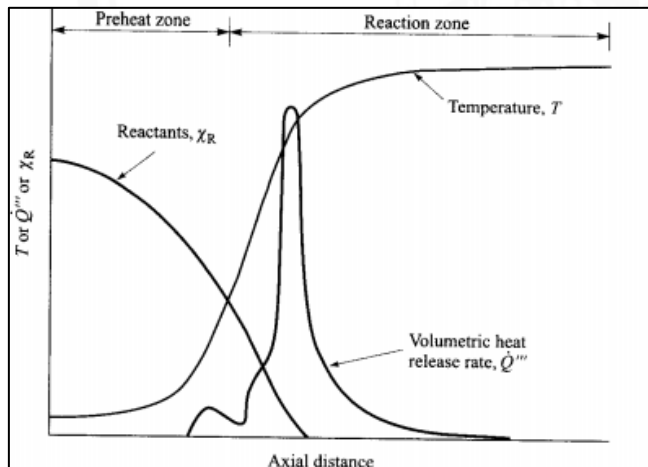
T = Temperatur

Persamaan (2-1) menunjukkan hubungan temperatur dan kecepatan yang berbanding lurus. Temperatur suatu zat yang berupa gas adalah energi kinetik dari gas itu sendiri. Pada reaksi pembakaran molekul akan bereaksi atau bertumbukan agar gas lebih aktif dengan cara menaikkan temperatur atau dengan cara dipanaskan.

2.5 Api Premixed Laminer

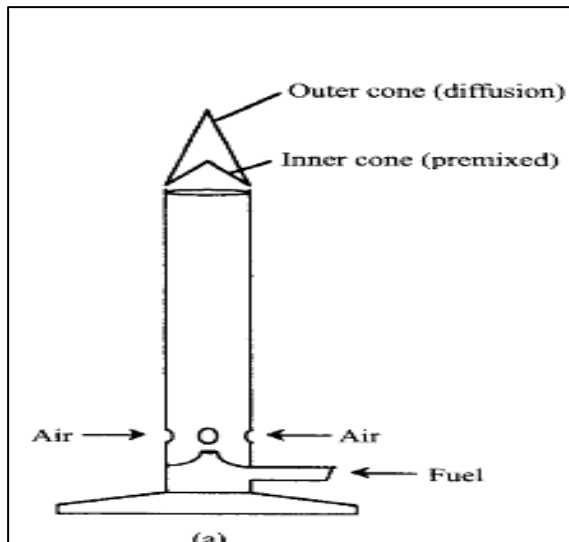
Api laminer didapatkan dari proses pembakaran yang pencampuran dan proses berjalannya reaktan terjadi secara molekuler. Pada api jenis laminer tidak ada olakan atau terjadi turbulensi karena api berjalan mengikuti *strimline*.

Api laminer adalah bentuk visualisasi api dimana api berbentuk laminer atau teratur. Jenis api ini memiliki bentuk yang mengikuti *strimline* aliran tanpa membentuk gerakan tidak beraturan atau turbulensi. Pada Gambar 2.6 kecepatan api bisa didefinisikan sebagai kecepatan normal reaktan *premixed* yang mengalir secara tegak lurus dengan bagian *flame front*.



Gambar 2.6 Struktur api laminer
Sumber: Turn (2010:255)

Bentuk api *premixed* laminer yang biasa diamati adalah pada api bunsen dan api premixed yang merambat pada tabung pembakar. Api *premixed* pada bunsen burner berbentuk kerucut yang terdapat pada permukaan api *premixed*, dan pada daerah yang lain terdapat api difusi.



Gambar 2.7 Skema nyala api pada *bunsen burner*
 Sumber: Turn (2010:257)

Gambar 2.7 menunjukan bahwa nyala api yang dihasilkan pada *bunsen burner* memiliki 2 nyala api dimana yang berbentuk kerucut yang kaya bahan bakar disekitarnya terdapat api difusi. Kerucut bagian dalam adalah api premixed dan kerucut bagian luar adalah api difusi. Bahan bakar yang belum terbakar sempurna pada api *premixed* adalah Karbon Monoksida (CO) dan Hidrogen (H₂). Karbon Monoksida (CO) dan Hidrogen (H₂) nantinya akan bercampur dengan udara dan membentuk api difusi.

Pada api *bunsen* kecepatan api sama dengan komponen normal kecepatan gas reaktan, maka:

$$S_L = v_u \cdot \sin.\alpha \quad (2-2)$$

Sumber: Wardana (2008)

Keterangan:

S_L = Kecepatan api laminar (cm/s)

V_u = Kecepatan reaktan (cm/s)

α = Sudut api yang terbentuk (°)

Untuk nilai dari kecepatan reaktan dapat dihitung dengan rumus :

$$V_u = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{A_b} \quad (2-3)$$

Sumber: Wardana (2008)

Dengan:

A_b = Luas bagian melintang *burner* (cm²)

Q_{fuel} = Debit aliran bahan bakar (cm³/s)

Q_{air} = Debit aliran udara (cm³/s)

2.6 Air Fuel Ratio

Air Fuel Ratio (AFR) merupakan perbandingan massa udara yang ada selama proses pembakaran. Ketika semua bahan bakar bercampur dengan udara bebas, campuran tersebut berdasarkan reaksi kimia yang setimbang dan perbandingan AFR ini disebut dengan campuran stoikiometrik. Dalam proses pembakaran hal yang sering diperhatikan adalah jumlah udara dan bahan bakar. Ratio massa udara dengan massa bahan bakar tersebut biasa disebut dengan *Air Fuel Ratio*.

Adapun campuran stokiometrik untuk persamaan AFR adalah:

$$(AFR)_{stoi} = \left(\frac{N_{udara}}{N_{bb}} \right)_{stoi} \quad (2-4)$$

Sumber: Wardana (2008)

$$(AFR)_{stoi} = \left(\frac{M_{udara}}{M_{bb}} \right)_{stoi} \quad (2-5)$$

Sumber: Wardana (2008)

Keterangan:

$(AFR)_{stoi}$ = Perbandingan antara udara dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometrik

N_{udara} = Jumlah mol udara (mol)

M_{udara} = Massa udara (kg)

N_{bb} = Jumlah mol bahan bakar (mol)

M_{bb} = Massa bahan bakar (kg)

Perhitungan AFR Metana dalam keadaan stokiometri berdasarkan rasio massa udara dengan bahan bakar adalah:

$$AFR = \frac{\text{massa molar udara}}{\text{massa molar CH}_4} = \frac{\text{massa molar } 2(\text{O}_2 + 79/21 \text{ N}_2)}{\text{massa molar CH}_4}$$

$$AFR = \frac{2(32 + 3,76 \times 28) \text{ gram udara}}{14 \text{ gram bahan bakar}}$$

$$AFR = \frac{274,56 \text{ gram udara}}{14 \text{ gram bahan bakar}}$$

$$AFR = 17,2 \frac{\text{gram udara}}{\text{gram bahan bakar}}$$

Jika massa dari metana dan massa udara telah diketahui nilai AFR dapat dihitung dalam perbandingan volume yang berdasarkan densitasnya.

Diketahui:

- Densitas udara pada 27°C adalah 0,0012 gr/cm³
- Densitas metana adalah 0,00071 gr/cm³

- Menghitung *volume* udara dan metana menggunakan persamaan:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2-6)$$

Sumber: Wardana (2008)

$$\begin{aligned} V_{\text{udara}} &= \frac{m}{\rho} & V_{\text{CH}_4} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{274,56}{0,0012} = 228.800 \text{ cm}^3 & &= \frac{16}{0,00071} = 22.535,21 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Sehingga perbandingan *volume* antara udara dan metana dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{\text{udara}} &: V_{\text{bahan bakar}} \\ 228.800 \text{ cm}^3 &: 22.346,368 \text{ cm}^3 \\ 10,24 \text{ mL} &: 1 \text{ mL} \end{aligned}$$

2.7 Kestabilan Nyala Api

Kestabilan nyala api dapat mempengaruhi proses pembakaran, api dijaga pada posisi tertentu agar alirannya tetap stasioner. Kondisi ini dapat terjadi jika kecepatan aliran gas reaktan sama dengan kecepatan rambat api. Adapun ketidakstabilan bentuk nyala api adalah:

1. *Lift-off*

Lift off merupakan keadaan dimana api tidak bersentuhan dengan permukaan tabung, tapi pada jarak tertentu apinya masih stabil (Turn, 2008). Pada kecepatan reaktan yang semakin meningkat akan menyebabkan tingginya nyala api bagian ujung yang akan menjauh pada ujung pembakaran maka akan *lifted* (terangkat).

2. *Blow-off*

Blow-off merupakan keadaan dimana nyala api bergerak dari mulut burner lalu padam. Hal ini disebabkan karena kecepatan pembakaran lebih rendah dibandingkan kecepatan reaktan, *blow off* menyebabkan bentuk api yang memanjang.

3. *Flashback*

Flashback adalah keadaan dimana nyala api memiliki gangguan akibat ketidaksetimbangan antara kecepatan reaktan dan kecepatan api, hal ini dikarenakan kecepatan api laminar lebih besar dibandingkan kecepatan reaktan. Fenomena *flashback* merupakan salah satu penyebab dari peristiwa ledakan pada instalasi gas.

2.8 Equivalen Ratio (Φ)

Equivalence ratio adalah perbandingan antara rasio udara dan bahan bakar pada keadaan stoikiometri $(AFR)_{stoi}$ dengan rasio udara dan bahan bakar secara aktual $(AFR)_{act}$. Dengan rumusan sebagai berikut.

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoi}}{(AFR)_{act}} \quad (2-6)$$

Sumber: Wardana (2008)

- $\Phi > 1$ disebut campuran kaya bahan bakar karena terdapat kelebihan bakar pada campurannya
- $\Phi < 1$ disebut campuran miskin karena kelebihan udara
- $\Phi = 1$ merupakan campuran yang stokiometri (pembakaran sempurna)

2.9 Bunsen Burner

Bunsen Burner adalah alat pembakaran yang dikembangkan oleh Robert William Bunsen pada tahun 1855. Nyala api premix yang dihasilkan oleh alat ini menggunakan prinsip aliran campuran udara dengan bahan bakar gas yang diatur secara kontinu. Pada saat awal nyala api yang stabil tercipta sebelum laju perubahan konsentrasi reaktan dan laju aliran campuran bahan bakar, maka api *premix* akan tetap stabil.

2.10 Reynolds Number (Re)

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi aliran seperti laminar, turbulen dan transisi. Bilangan Reynolds pada umumnya dirumuskan sebagai berikut.

$$Re = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{vd}{\nu} = \frac{\rho vd}{\mu} \quad (2-7)$$

Sumber: Wardana (2008)

dengan:

Re = Bilangan *Reynolds*

ν = Viskositas kinematik fluida (cm^2/s)

ρ = Kerapatan fluida (g/cm^3)

v = Kecepatan fluida (cm/s)

d = Diameter pipa (cm)

μ = Viskositas absolut fluida dinamis ($\text{g}/\text{cm.s}$)

Suatu jenis aliran dinyatakan dalam bentuk laminar apabila $Re \leq 2300$ adalah aliran laminar, $Re \geq 4000$ adalah aliran turbulen dan $2300 < Re < 4000$, yaitu aliran yang transisi (Cengel & Cimbala, 2006).

2.11 Metana

Metana merupakan gas yang terbentuk oleh ikatan kovalen antara empat atom H dengan satu atom C. Metana merupakan suatu alkana. Alkana secara umum mempunyai sifat sukar bereaksi sehingga biasa disebut sebagai parafin. Metana adalah salah satu komponen utama gas alam, sehingga metana dapat dikatakan sebagai sumber bahan bakar utama. Sifat lain dari alkana adalah mudah mengalami reaksi pembakaran sempurna dengan oksigen menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) dengan reaksi:



Wardhana (2008) menjelaskan sifat dari metana sebagai berikut.

- Densitas dalam kondisi standar : 0,7168 gr/dm³
- Berat jenis spesifik dibandingkan air : 0,554
- Nilai kalor tinggi : 9510 kcal/m³
- Nilai kalor rendah : 8570 kcal/m³
- Volume udara yang diperlukan untuk pembakaran stoikiometrik : 9,52 (m³/m³)
- Suhu pembakaran adiabatik kondisi stoikiometrik pada 25 °C : 1952 °C
- Batas konsentrasi mampu bakar diudara tertinggi : 15%
- Batas konsentrasi mampu bakar diudara terendah : 5%
- Temperatur penyalan : 580°C
- Kecepatan rambat api pada campuran stoikiometri pada 25 °C : 43,4 cm/det

2.12 Simulasi Numerik

Simulasi adalah teknik meniru operasi atau proses yang terjadi dalam sistem dengan bantuan perangkat komputer dan dilandasi asumsi tertentu agar bisa dipelajari secara ilmiah (Law and Kelton, 1991).

Dalam simulasi komputer dipelajari secara numerik yang mana pengumpulan data untuk melakukan estimasi statistik agar didapatkan karakteristik asli dari sistem. Pada penelitian ilmiah pemodelan kasus dapat diteliti menggunakan perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*) yang menggunakan persamaan matematik pada suatu kasus. Pada penelitian ini digunakan aplikasi CAE dari ANSYS, Inc yaitu aplikasi CFD

(*Computational Fluid Dynamic*) dengan Fluent sebagai pemecah permasalahan tentang komputasi fluida yang berkaitan pada bidang teknik selain menggunakan laboratorium (Trimulyono, 2012).

2.13 CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

Computational Fluid Dynamic adalah sebuah metode yang menggunakan komputer yang nantinya digunakan untuk melakukan simulasi aliran fluida, reaksi kimia maupun fenomena aliran. *Computational Fluid Dynamic* sendiri dibagi menjadi 2 istilah yaitu *computational* dan *fluid dynamic*. *Fluid Dynamic* menjelaskan tentang dinamika fluida (sifat aliran fluida dan transfer panas), sedangkan istilah *computational* menjelaskan tentang dinamika fluida dapat dihitung ataupun disimulasikan dengan seperangkat metode numerik dengan bantuan komputer.

Yang membedakan tingkat akurasi dari data hasil eksperimen dengan CFD adalah pada data hasil eksperimen, tingkat akurasi bergantung pada alat yang digunakan dan gangguan yang terjadi saat penelitian. Sedangkan akurasi solusi numerik pada CFD tergantung pada kualitas diskretisasi yang digunakan. CFD disusun berdasarkan algoritma numerik yang dapat mengatasi masalah tentang aliran fluida. Komponen yang dibutuhkan dalam algoritma numerik yaitu model matematika dan metode diskretisasi (Versteeg, 2007).

Hal pertama yang dibutuhkan dalam menyusun algoritma numerik adalah dengan pemodelan matematika. Model matematika nantinya akan digunakan untuk memudahkan dalam mendiskripsikan keadaan aliran suatu fluida. Terdapat tiga prinsip utama yaitu:

1. Persamaan Kontinuitas (Hukum Kekekalan Massa)
2. Persamaan Energi (Hukum Kekekalan Energi)
3. Persamaan Momentum (Hukum II Newton)

Selanjutnya menentukan model matematika, kita memilih metode yang cocok pada diskretisasi sistem aljabar agar lebih mudah menggunakan pendekatan seperti *finite difference method*, *finite element method*, dan *finite volume method*. Yang sering digunakan pada analisa CFD adalah *finite volume method* atau metode volume hingga.

Metode volume hingga dikembangkan dari *special finite difference*. Metode volume hingga yang menggunakan bentuk integral dari persamaan umum untuk diskretisasi persamaan. Hasilnya akan diubah menjadi sejumlah *control volume* yang berhingga, dan persamaan umum yang telah didiskretisasi dapat diaplikasikan pada tiap *control volume*. Titik pusat tiap *control volume* merupakan nodal komputasi pada variabel yang dihitung.

Tahapan-tahapan simulasi dengan menggunakan CFD adalah:

1. *Pre Processing*.

Pada tahapan ini akan dibuat model geometri dengan CAD (*Computer Aided Design*) dibuat mesh atau grid yang sesuai dengan memperhatikan kondisi batas serta sifat-sifat fluida serta solidnya.

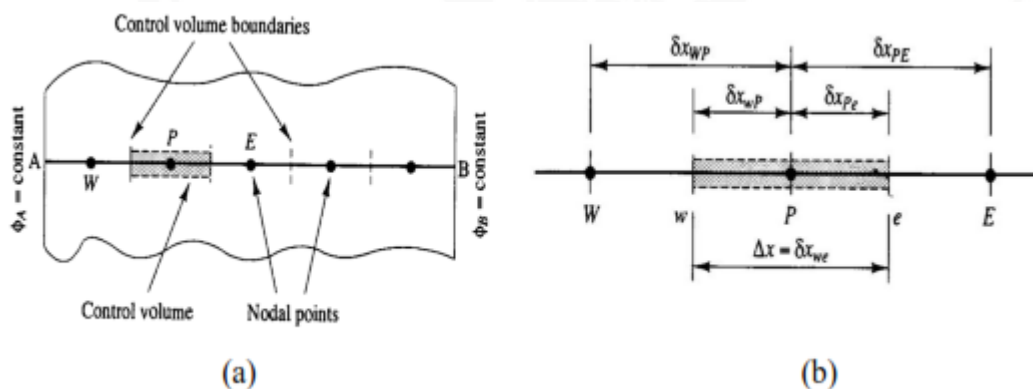
2. *Solving*

Adalah tahapan inti dari CFD. Pada tahap ini solusi akan dihitung berdasarkan kondisi yang digunakan pada tahap *pre-processing*.

3. *Post-Processing*

Pada tahapan terakhir dalam CFD akan dilakukan interpretasi dari data hasil simulasi yang berupa bentuk visual seperti kontur, *streamline*.

Untuk kasus satu dimensi dapat digambarkan seperti Gambar 2.8 dibawah, merepresentasikan pembagian domain ke dalam *control volume* yang berhingga dan notasi yang biasa digunakan. Titik nodal diidentifikasi dengan P dan titik nodal didekatnya di sebelah barat dan timur diidentifikasi dengan W dan E. Titik permukaan *control volume* di sisi barat ditunjuk dengan *w* dan di sisi timur dengan *e*. Jarak antara nodal W dan P, dan antara P dan E diidentifikasi dengan δx_{WP} dan δx_{PE} . Sedangkan jarak antara titik permukaan *control volume* *w* dengan titik nodal P, dan antara titik nodal P dengan titik permukaan *control volume* *e* dinotasikan dengan δx_{wP} dan δx_{Pe} . Panjang *control volume* adalah δx_{we} .



Gambar 2.8 (a) Pembagian *control volume* 1 dimensi, (b) Panjang *control volume*
Sumber: Versteeg (2007)

Persamaan yang mengatur diselesaikan melalui *control volume* diskrit. Metode volume hingga menyusun kembali persamaan atur diferensial parsial, yaitu persamaan Navier-Stokes, dalam bentuk konservatif dan kemudian didiskritkan persamaan baru. Hal ini menjamin konservasi fluks melalui *control volume* tertentu. Yang terbatas menghasilkan persamaan volume yang mengatur persamaan dalam bentuk.

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint Q dV + \iint F dA = 0, \quad (2-8)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:122)

Dimana Q adalah vektor variabel dilestarikan, F adalah vektor dari fluks, V adalah volume dari elemen kontrol volume, dan luas permukaan elemen volume kontrol.

CFD menyajikan pemodelan dari suatu pembakaran dengan sangat baik. Proses pembakaran diatur oleh persamaan *transport* dasar untuk aliran fluida dan *heat transfer* dengan model-model tambahan untuk pembakaran kimiawi, perpindahan panas radiasi dan proses-proses penting lainnya. Adapun persamaan-persamaan yang digunakan dalam proses pemodelan pembakaran di CFD seperti persamaan kontinuitas, persamaan momentum, persamaan *transport species*, persamaan energi.

Persamaan kontinuitas sebagai berikut.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2-9)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Dari persamaan tersebut perlu dicatat bahwa densitas dalam aliran pembakarannya variabel, dan tergantung pada tekanan, temperatur dan *species concentration*.

Persamaan momentum sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + F_i \quad (2-10)$$

Sumber : Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Dimana adalah tegangan *viscous* dan F_i adalah *body force* (dimana sudah termasuk gravitasi):

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (2-11)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Persamaan *transport equations* sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right) + \omega_k \quad (2-12)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

2.14 Pemodelan Pembakaran pada CFD

Pembakaran adalah salah satu proses terpenting dalam dunia *engineering*, yang melibatkan aliran fluida turbulen, perpindahan panas, reaksi kimia, perpindahan panas radiasi dan proses fisik dan kimia kompleks lainnya. Aplikasi teknik yang umum termasuk mesin pembakaran internal, pembangkit tenaga listrik, *aero-engines*, turbin gas *combustors*, boiler, *furnaces*, dan peralatan pembakaran lainnya. Penting untuk dapat memprediksi aliran, suhu, hasil konsentrasi dan emisi spesies dari berbagai sistem

pembakaran untuk disain dan perbaikan peralatan pembakaran, terutama dengan kekhawatiran saat ini tentang CO₂ dan tingkat emisi lainnya dan pengaruhnya terhadap lingkungan. CFD sangat cocok untuk pemodelan pembakaran. Proses pembakaran diatur oleh persamaan transportasi dasar untuk aliran fluida dan perpindahan panas dengan model tambahan untuk kimia pembakaran, perpindahan panas radiasi dan sub-proses penting lainnya. Pembakaran adalah subjek yang kompleks, dan pemodelan pembakaran karenanya membutuhkan cukup banyak pengetahuan dan pengalaman.

Ada banyak jenis proses pembakaran. Pembakaran bahan bakar gas, pembakaran bahan bakar cair, pembakaran bahan bakar padat, *spray*, *pulverized*, dan lainnya. Untuk menggambarkan penerapan CFD maka akan difokuskan pada pembakaran gas. Untuk proses lain yang lebih kompleks maka harus dilakukan studi literatur lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana CFD berhasil diterapkan di area seperti pembakaran semprot (Beck dan Watkins, 2004), pembakaran batubara bubuk (Lockwood et al., 1980, 1986), diesel dan spark ignition Mesin (Blunsdon et al., 1992, 1993; Henson dan Malalasekera, 2000) sebagai alat pemodelan.

Pembakaran gas melibatkan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan yang berada dalam fase gas. Ada dua kategori proses pembakaran gas: pembakaran *premix* dan pembakaran *non-premixed*. Misalnya, pembakaran dalam *spark ignition internal combustion engine* (mesin bensin) dapat dikategorikan sebagai pembakaran *premix*, karena bahan bakar (bensin) dicampur dengan udara sebelum pembakaran, yang terjadi setelah pengapian. Demikian pula *flame* di bunsen burner yang sudah dikenal juga merupakan pembakaran *premix*, karena udara telah dicampur dengan gas sebelum pembakaran. Sebaliknya, sebuah *jet flame* dimana bahan bakar memasuki udara ambien dan dibiarkan menyala adalah contoh nyala yang tidak bercampur. Campuran bahan bakar gas dengan aliran oksidan (udara) dan kemudian pembakaran terjadi dimana kondisinya tepat untuk pembakaran. *Non-premix flame* juga disebut difusi *flame* karena bahan bakar dan oksigen dimasukkan ke zona pembakaran di dua atau lebih aliran terpisah dan selanjutnya disatukan karena difusi dan pencampuran sebelum pembakaran.

Sebelum dan sesudah pembakaran, volume gas biasanya mengandung campuran spesies. Oleh karena itu penting untuk mempertimbangkan sifat dasar campuran tersebut.

Fraaksi mol spesies k dalam campuran didefinisikan sebagai:

$$X_k = \frac{n_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_N} = \frac{n_k}{n_{\text{total}}} \quad (2-13)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:364)

Dalam aliran pembakaran, temperatur bergantung pada keadaan termodinamika dan komposisi dari (*mixture*) campuran. Beberapa model pembakaran tidak membutuhkan persamaan *transport* untuk mencari entalpi, semisal pada model *laminar flamelet*, temperatur didapatkan dari *laminar flamelet library curves*. Energi kimiawi dilepaskan sebagai panas selama pembakaran dan hasil entalpi diperoleh dengan penyelesaian persamaan *transport*nya, berikut persamaan energi yang digunakan:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu}{\sigma_h} \frac{\partial h}{\partial x_i} + \mu \left(\frac{1}{S_{ck}} - \frac{1}{\sigma_h} \right) \sum_{k=1}^N h_k \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial \rho}{\partial t} + S_{rad} \quad (2-14)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:364)

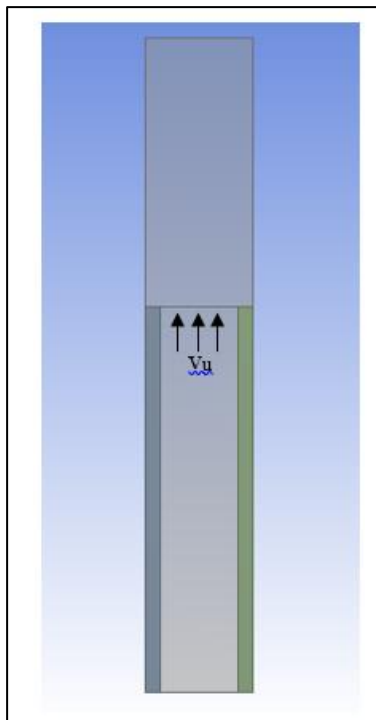
Untuk menyertakan *finite rate* dan ilmu kimia rinci dalam perhitungan pembakaran harus dipertimbangkan mekanisme rinci dan menyelesaikan banyak persamaan *species transport* dalam bentuk:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v Y_k) = \frac{\partial}{\partial x}(\rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial r}) + r \omega_k \quad (2-15)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:374)

2.15 Kondisi Batas Pemodelan Pembakaran dalam *Computational Fluid Dynamics*

Dalam melakukan pemodelan, perlu untuk menentukan kondisi batas atau *boundary condition* yang dikehendaki pada model. Kondisi batas ini bertujuan agar pemodelan yang dibuat dapat sesuai dengan parameter dan kondisi yang diinginkan. Pada Gambar 2.9 merupakan kondisi batas dari pemodelan pembakaran yang digunakan pada penelitian ini.



Kondisi Batas Pemodelan :

- Kecepatan Reaktan (V_u) = 0,477 m/s
- Bahan Bakar = Oksigen dan Metana 9 Campuran Stokiometri)
- Solver = Pressure-Based, Steady State, dan Axisymmetric
- Species Model = Species Transport, Eddy Dissipation
- Pressure velocity Coupling = SIMPLE (Semi-Implicite Method for Pressure Linked Equation)
- Dencity = Ideal Gas Law
- Pemodelan Sistem :
Material Sistem = Udara
Temperatur Sistem = 300 K
Tekanan Sistem = 1 atm
Keadaan Sistem = Adiabatik

Gambar 2.9 Kondisi batas pemodelan

1. *Pressure-Based*

Penyelesaian *Pressure-Based* ini digunakan pada aliran yang bersifat subsonik. Pada penyelesaian *Pressure-Based* ini pada awalnya nilai dari *face pressure* pada batas sistem sama dengan nilai pada *pressure outlet*. Ketika pilihan *average pressure specification* diaktifkan, maka nilai *face pressure* pada batas luar sistem dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$P_f = 0.5 (P_c + P_e) + dp \quad (2-16)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:374)

$$dp = \left(P_c - \frac{\sum_{i=1}^{i=n \text{ face}} 0.5 9(P_c + P_e)(Area)}{\sum_{i=1}^{i=n \text{ face}} Area} \right) \quad (2-17)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:374)

Keterangan:

P_c = Tekanan *Interior Cell*

P_e = Tekanan Keluar

dp = Perbedaan nilai tekanan antara tekanan spesifik P_e dengan tekanan rata-rata akhir pada batas

2. *Steady State*

Perhitungan *steady state* ini digunakan ketika karakteristik perhitungan tidak mengalami perubahan berdasarkan waktu. Pada kondisi *steady* ini diasumsikan didapat setelah mencapai interval waktu yang relatif panjang. Pada kondisi *steady* ini tidak diperlukan informasi waktu secara terus menerus untuk mendeskripsikan karakteristik

perhitungan. Banyak aplikasi aliran yang dapat diasumsikan berupa *steady* setelah awalnya berupa aliran yang *unsteady*, contohnya berupa aliran setelah beroperasinya mesin rotari.

3. *2D Axisymmetric*

Pada permasalahan dengan geometri berupa silinder atau geometri yang berotasi secara simetri, persamaan yang digunakan dapat disederhanakan menjadi persamaan bentuk dua dimensi dengan transformasi koordinat secara *axisymmetric*. Pada sumbu simetri, koefisien reaksi bernilai nol, digunakan sebagai referensi di mana koordinat, gradien, dan operator divergen akan bertransformasi. Dengan metode ini, persamaan ini akan disederhanakan menjadi bentuk dua dimensi, namun tetap menampilkan persamaan rotasi tiga dimensional.

4. *Eddy Dissipation*

Metode *Eddy Dissipation* ini digunakan karena dalam menggunakan metode *Eddy Dissipation* ini tidak diperlukan pemantik. Dengan menggunakan metode *Eddy Dissipation* ini cukup sederhana dan praktis, karena memudahkan dalam pembuatan geometri karena tidak perlu menambahkan pemantik untuk menginisiasi terjadinya proses pembakaran dan juga dalam menentukan kondisi batas, tidak perlu menentukan kondisi batas untuk pemantik. Selain itu, *Eddy Dissipation* dapat digunakan pada berbagai kasus, sehingga tidak perlu dilakukan penyesuaian pada tiap kasus. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan pada metode *Eddy Dissipation*

$$R_{i,r} = v_{i,r} M_{w,i} A \rho \frac{\varepsilon}{k} \min R \left(\frac{Y_R}{v_{R,r} M_{w,R}} \right) \quad (2-18)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:374)

$$R_{i,r} = v_{i,r} M_{w,i} A B \rho \frac{\varepsilon}{k} \frac{\sum p Y_p}{\sum_j^N v_{j,r} M_{w,j}} \quad (2-19)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:374)

Keterangan:

Y_P = Fraksi massa dari produk

Y_R = Fraksi massa dari reaktan

A = Konstanta Empiris yang Bernilai 4

B = Konstanta Empiris yang Bernilai 0,5

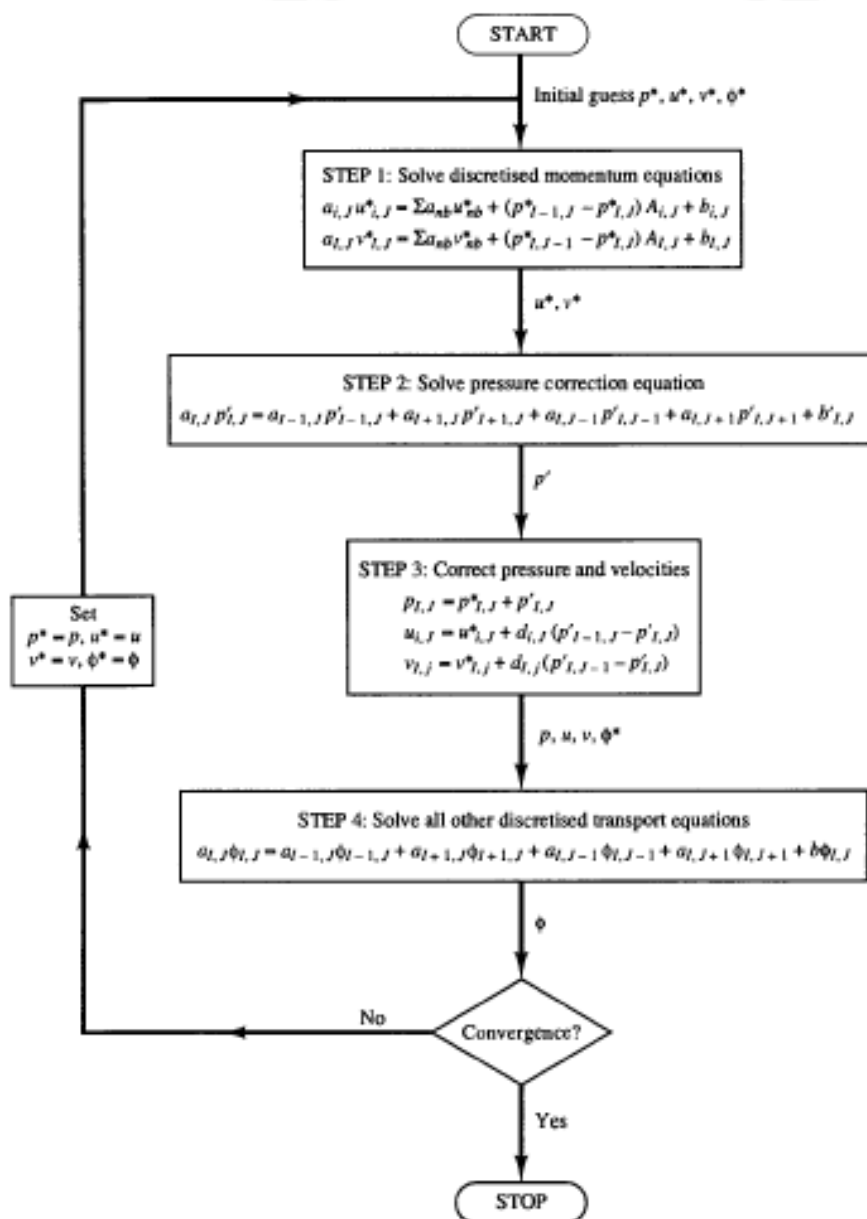
5. SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation*)

Metode SIMPLE ini digunakan karena sangat sesuai dengan kondisi analisis pada simulasi yang dilakukan, yaitu analisis berupa analisis dua dimensi, dengan kondisi aliran tunak, dan laminar. Selain itu algoritma dari SIMPLE ini lebih sederhana

dibandingkan dengan metode lainnya sehingga proses perhitungan dapat berlangsung lebih cepat dibandingkan metode lainnya. Berikut ini adalah algoritma dari metode SIMPLE:

- Membagi persamaan ke dalam bentuk yang lebih kecil
- Menyelesaikan persamaan tekanan terkoreksi
- Mengkoreksi tekanan dan kecepatan
- Menyelesaikan persamaan lain yang telah dibagi ke dalam bentuk kecil tadi

Algoritma tersebut akan mengalami pengulangan secara terus menerus (iterasi) hingga proses perhitungan yang dilakukan telah konvergen. Berikut ini merupakan diagram alir dari metode SIMPLE.



Gambar 2.10 Diagram alir metode SIMPLE

2.16 Hipotesis

Dari kajian pustaka yang telah dibahas maka diperoleh hipotesa bahwa semakin tinggi kecepatan reaktan maka menyebabkan menunjukkan hasil berupa visualisasi nyala api dengan pengaruh diameter, ketika diameter *bunsen burner* semakin besar maka visualisasi kecepatan api akan turun, distribusi temperatur dan tinggi api semakin rendah. Hal ini disebabkan perubahan kecepatan reaktan karena perbedaan ukuran diameter *bunsen burner*. Di mana hasil dari simulasi ini akan menunjukkan kecenderungan (*trendline*) yang sama dengan metode eksperimental dan akan diperoleh temperatur dan tinggi nyala api yang lebih tinggi.





BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi. Dari simulasi ini akan didapatkan kemungkinan yang terjadi pada eksperimen secara langsung. Penelitian ini menggunakan *software Ansys workbench 18.1 fluent* yang disimulasikan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Penelitian simulasi karakteristik nyala api dengan variasi diameter *bunsen burner* dilaksanakan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3.2.2 Waktu Penelitian

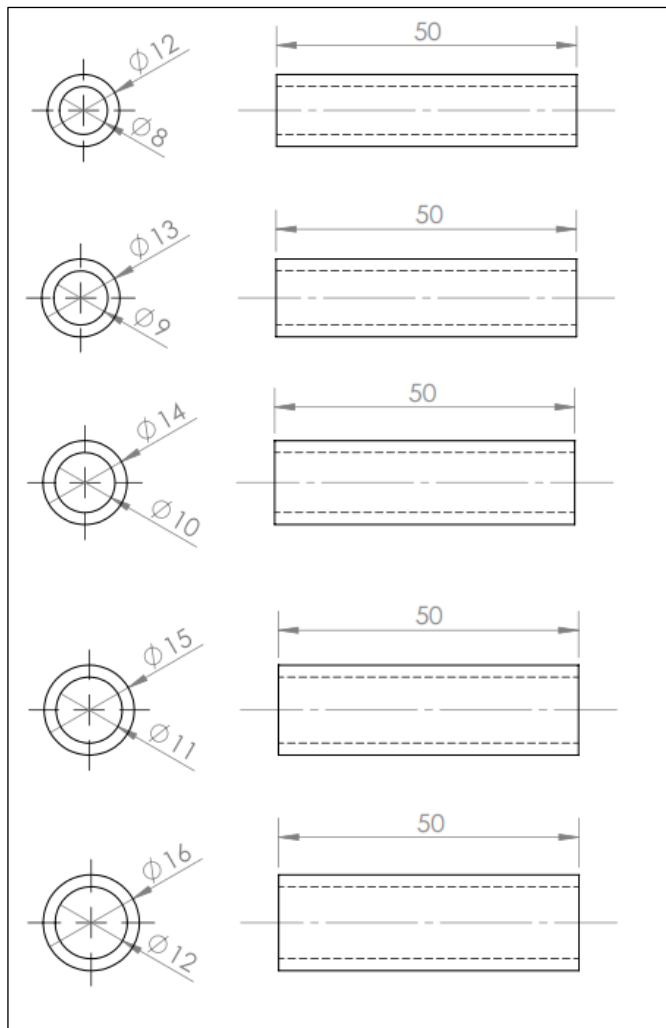
Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Desember 2017-Selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah suatu karakteristik yang mempunyai dua atau lebih nilai, atau sifat yang berdiri sendiri. Tujuan identifikasi variabel adalah untuk menemukan semua karakteristik yang mempengaruhi terjadinya masalah penelitian. Dengan penggunaan variabel, kita dapat dengan mudah memperoleh dan memahami permasalahan. Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan secara bebas oleh peneliti sebelum dilakukan penelitian. Pada penelitian ini, variabel bebas yang akan digunakan adalah Diameter *bunsen burner* yaitu 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm dan 12 mm.



Gambar 3.1 Desain bunsen burner

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variable bebas dan hasilnya dapat diketahui setelah dilakukan penelitian. Pada penelitian ini variabel terikatnya yaitu tinggi api, kecepatan api laminar dan temperatur api yang diperoleh dari penelitian karakteristik nyala api metana pada *bunsen burner* dengan variasi ukuran diameter.

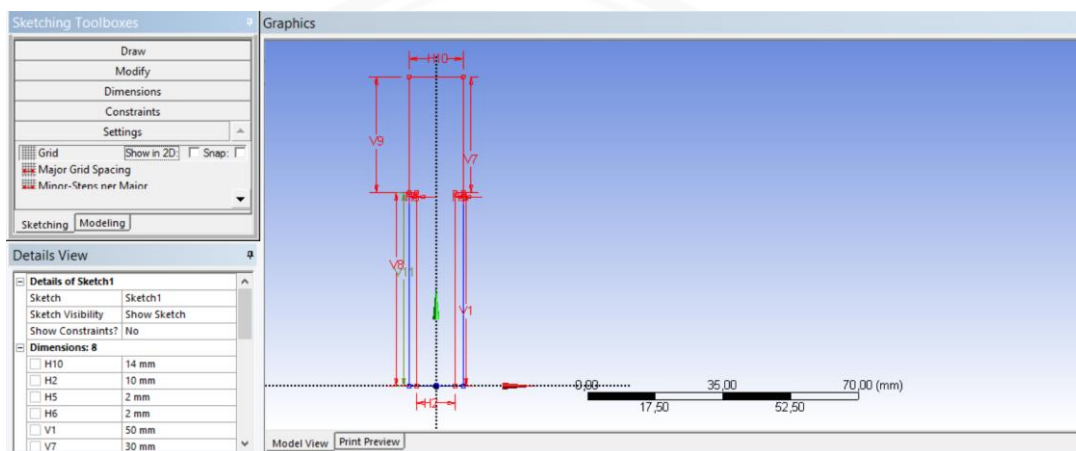
3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang memiliki nilai konstan atau tetap selama penelitian. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah material yang digunakan pada bunsen burner adalah aluminium.

3.4 Prosedur Penelitian

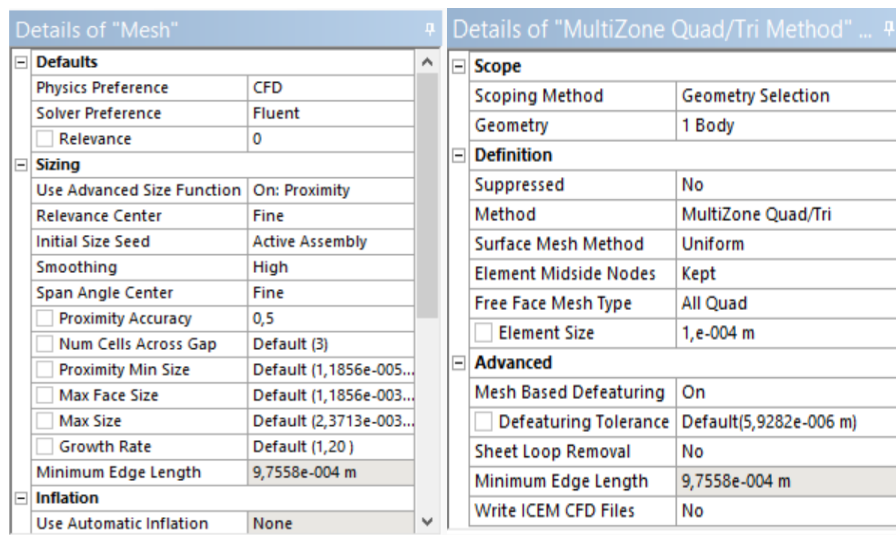
Dalam penelitian akan dilakukan analisa tentang pengaruh variasi perbandingan diameter *inlet* dan *outlet* pada *bunsen burner* terhadap visualisasi bentuk nyala api, visualisasi distribusi temperatur, kecepatan reaktan dan temperatur nyala api. Sebagaimana prosesnya adalah:

1. Memodelkan *geometry bunsen burner* dengan ukuran sesuai dengan variabel yang telah ditentukan. Dalam hal membuat *geometry* bisa dilakukan di Design Modeller yang terdapat pada *software* secara langsung atau bisa juga menggunakan *software* lainnya. *Geometry combustor* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



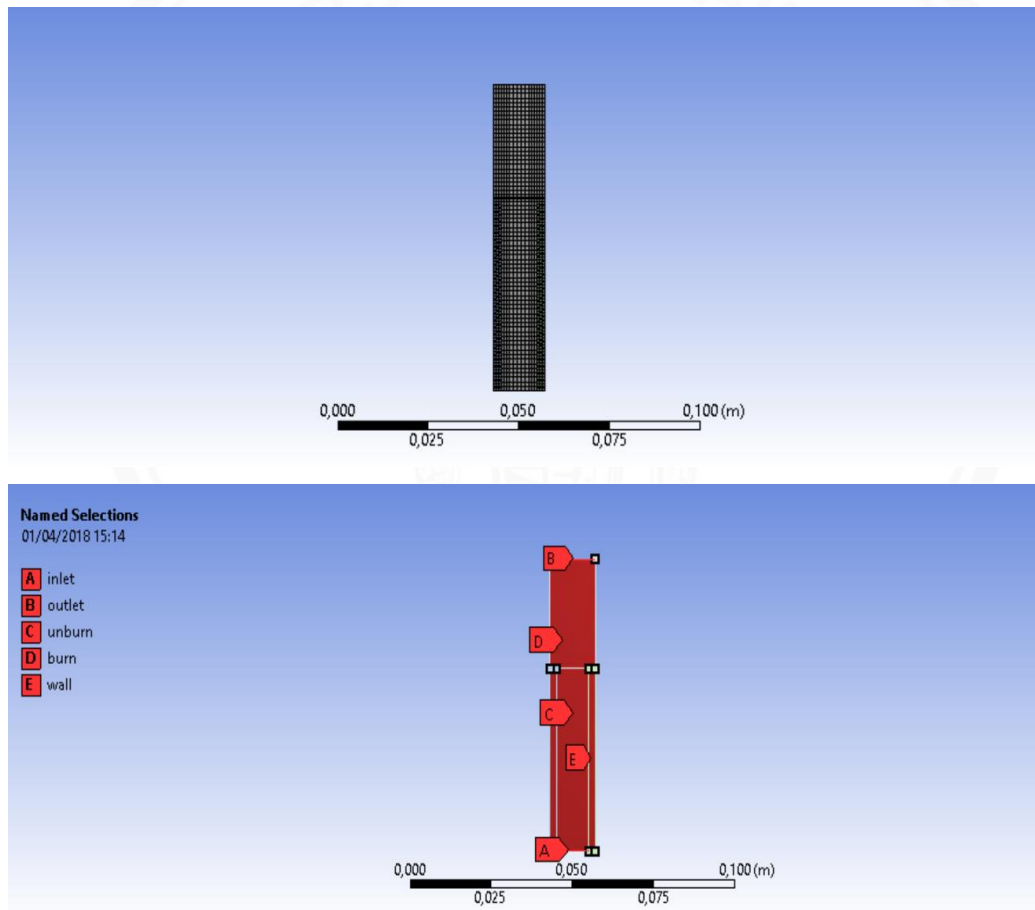
Gambar 3.2 *Geometry combustor*

2. *Meshing*, yaitu proses membagi *geometry* menjadi bagian-bagian yang mana akan menghasilkan node yang digunakan untuk perhitungan komputasi numerik. Semakin kecil *cell* yang dipilih maka akan semakin besar persamaan yang dapat diselesaikan *software* maka beban komputer akan semakin besar pula data yang dihasilkan semakin akurat. *Meshing* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu manual dan otomatis. *Meshing* sendiri dapat dilakukan dengan pengaturan seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengaturan meshing

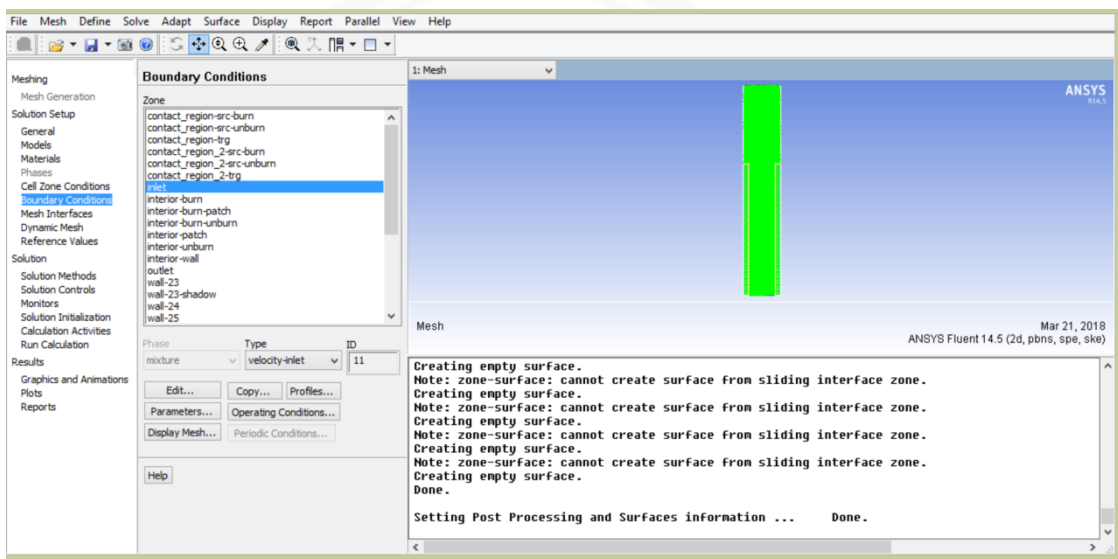
Meshing dapat dilihat pada Gambar 3.4. Kemudian menentukan area yang ingin dibuat.



Gambar 3.4 Geometry meshing dan penamaan pada combustor

3. *Setup boundary conditions*, seperti terlihat pada Gambar 3.5 dibawah yaitu prosedur berikutnya adalah menentukan kondisi batas pada combustor dengan parameter – parameter sebagai berikut.

- a. *Solver* : *Pressure-based, steady-state and axisymmetric*
- b. *Species model* : *Eddy-Dissipation*
- c. *Pres.-velocity coupling* : *SIMPLE*
- d. *Density* : *Ideal gas law*
- e. *Mixture specific heat* : *Mixing law*
- f. *Species specific heat* : *Piecewise-Polynomial*
- g. *Convergence criteria* : 1×10^{-3} untuk *continuity*, 1×10^{-3} untuk *velocity*
 1×10^{-6} untuk *energy* dan 1×10^{-3} untuk *species equationz*

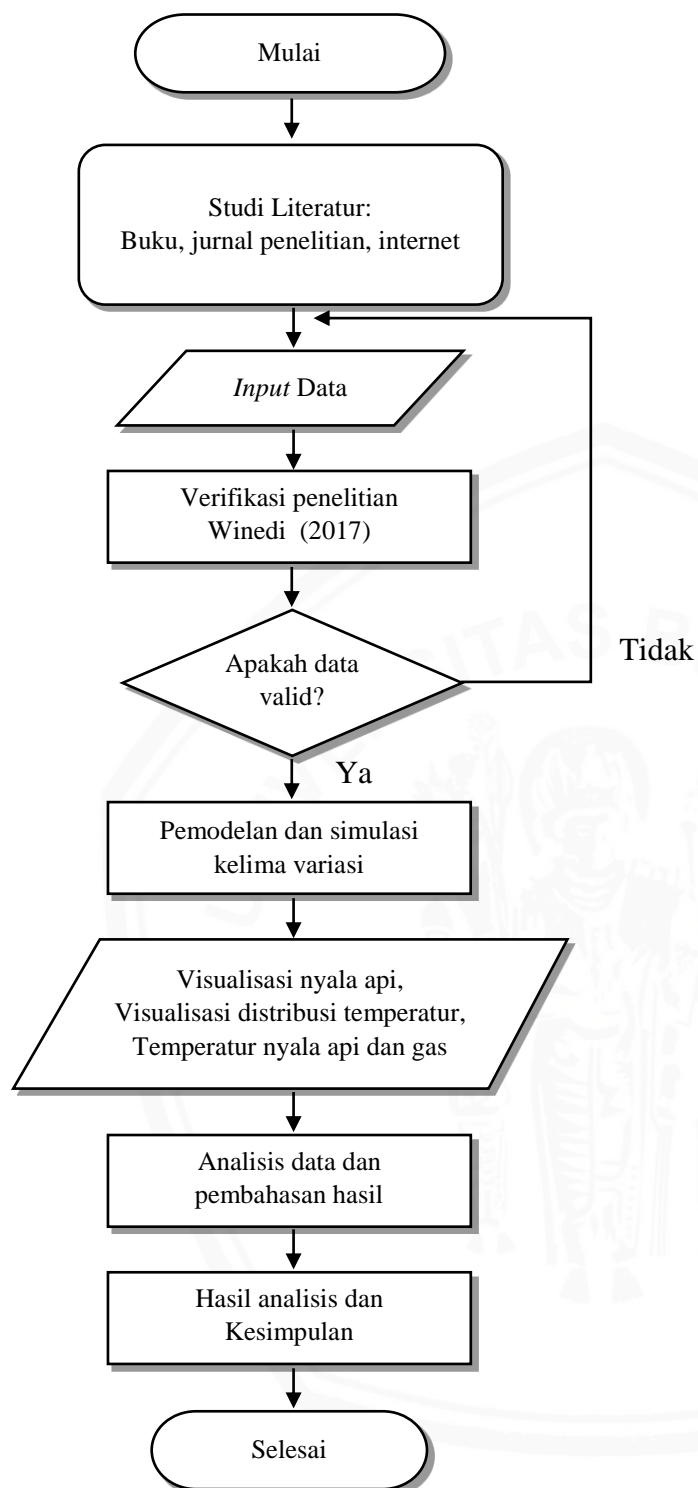


Gambar 3.5 Proses setup boundary condition

4. *Processing solution*, yaitu proses perhitungan dengan *software* berbasis *finite volume method* setelah *boundary conditions* disetting sesuai variabel.
5. *Plot result*, yaitu pengambilan dan pengolahan data dari hasil perhitungan. Pada tahap ini nantinya akan didapatkan data visualisasi nyala api, visualisasi distribusi temperatur, tinggi api dan kecepatan api laminar.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Sebelum melakukan penelitian dibuat sebuah diagram alir penelitian yang akan ditampilkan pada Gambar 3.6.

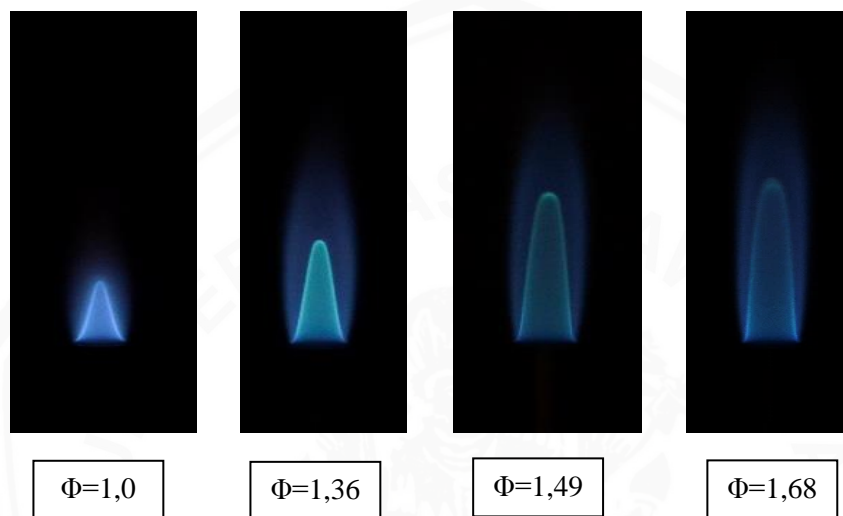


Gambar 3.6 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Verifikasi Penelitian

Pada penelitian ini verifikasi digunakan untuk membandingkan hasil dari simulasi numerik pada *bunsen burner* dengan eksperimental yang dilakukan oleh Winedi, 2017



Gambar 4.1 Nyala api *bunsen burner* pada diameter 8 mm dengan variasi ekuivalen rasio pada pengujian eksperimental.

Data hasil eksperimental :

Tabel 4.1

Tabel Data Bunsen Burner diameter 8 mm

Parameter	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,12$	$\Phi=1,23$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	17,05	15,89	12,02	11,24	7,17	5,61
Tinggi api(mm)	11,88	12,28	16,61	18	26,06	29,79

Tabel 4.2

Tabel Data Bunsen Burner diameter 9 mm

Parameter	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,12$	$\Phi=1,23$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	21,14	19,41	14,39	13,58	8,51	6,80
Tinggi api(mm)	10,4	11,78	14,78	16,54	24,06	27,64

Tabel 4.3

Tabel Data Bunsen Burner Diameter 10 mm

Parameter	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,12$	$\Phi=1,23$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	26,04	22,90	17,18	15,86	10,1	8,06
Tinggi api(mm)	9,23	10,55	13,09	15,4	22,07	25,16

Tabel 4.4

Tabel Data Bunsen Burner Diameter 11 mm

Parameter	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,12$	$\Phi=1,23$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	31,46	27,45	20,23	18,78	11,50	9,66
Tinggi api(mm)	8,29	9,37	12,45	14,05	20,34	23,31

Tabel 4.5

Tabel Data Bunsen Burner Diameter 12 mm

Parameter	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,12$	$\Phi=1,23$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	0	30,52	23,51	21,34	13,14	11,02
Tinggi api(mm)	0	8,14	11,34	13,26	18,81	22,19

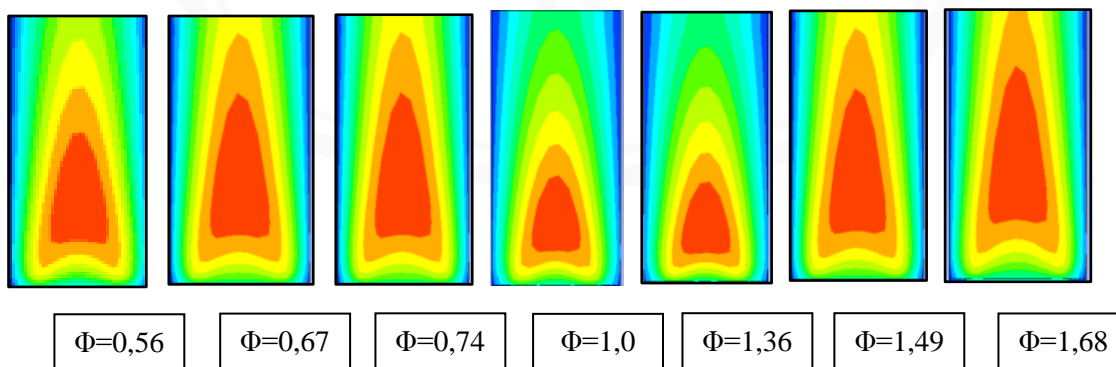
Dari Tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5 dan 4.6 dapat dilihat kecenderungan nilai sudut api mengalami peningkatan seiring peningkatan ukuran diameter *bunsen burner* dan nilai sudut semakin meningkat seiring penurunan nilai ekuivalen rasio. Tinggi api semakin turun ketika ukuran diameter *bunsen burner* semakin besar dan nilai ekuivalen rasio semakin kecil. Pada tabel juga bisa diketahui bahwa kecepatan reaktan akan semakin besar apabila ukuran diameter *bunsen burner* dan nilai ekuivalen rasio semakin kecil.

Tabel 4.6

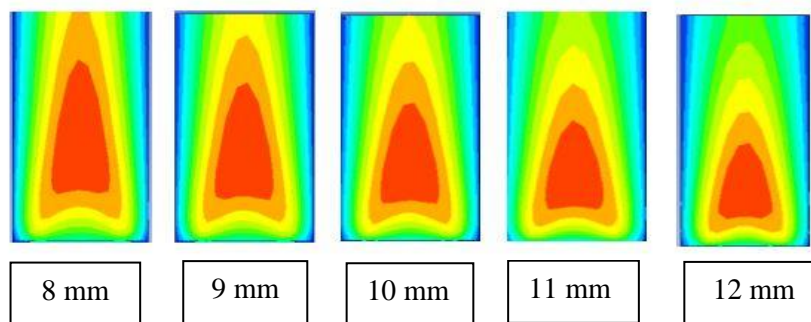
Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api Secara Eksperimental Masing-masing Variasi Diameter Bunsen Burner

Diameter Burner	Parameter	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,12$	$\Phi=1,23$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
8 mm	T ujung ($^{\circ}\text{C}$)	1285,33	1253	1239	1230,67	1205,67	1178,67
	T tengah ($^{\circ}\text{C}$)	1237	1207,33	1153	1132	1107,67	1086
	S_L (cm/s)	47,18	41,33	29,02	24,89	14,70	10,37
	Tinggi api(mm)	11,88	12,28	16,61	18	26,06	29,79
9 mm	T ujung ($^{\circ}\text{C}$)	1234,33	1219	1201	1191,33	1181	1165,67
	T tengah ($^{\circ}\text{C}$)	1148,33	1126,67	1117,33	1107	1087,67	1068,67
	S_L (cm/s)	45,85	39,63	27,36	23,69	13,77	9,93
	Tinggi api(mm)	10,4	11,78	14,78	16,54	24,06	27,64
10 mm	T ujung ($^{\circ}\text{C}$)	1221,33	1195,33	1184,67	1163,67	1154	1136,33
	T tengah ($^{\circ}\text{C}$)	1119	1092,67	1075,67	1064	1047	1031,33
	S_L (cm/s)	45,20	37,59	26,34	22,34	13,22	9,53
	Tinggi api(mm)	9,23	10,55	13,09	15,4	22,07	25,16
11 mm	T ujung ($^{\circ}\text{C}$)	1210	1181	1163	1143	1119,67	1109,33
	T tengah ($^{\circ}\text{C}$)	1106	1084,67	1061,67	1041,33	1025	1006,67
	S_L (cm/s)	44,41	36,80	25,48	21,75	12,42	9,42
	Tinggi api(mm)	8,29	9,37	12,45	14,05	20,34	23,31
12 mm	T ujung ($^{\circ}\text{C}$)	Flashback	1175	1152	1134,33	1125,67	1104
	T tengah ($^{\circ}\text{C}$)	Flashback	1081	1053,67	1039	1007	996,33
	S_L (cm/s)	Flashback	34,07	24,70	20,66	11,89	9,01
	Tinggi api(mm)	Flashback	8,14	11,34	13,26	18,81	22,19

Berikut adalah hasil dari penelitian variasi diameter secara simulasi dengan perbedaan ekuivalen rasio, penyusunan dilakukan dari ekuivalen rasio tertinggi hingga terendah pada bunsen burner.



Gambar 4.2 Nyala api diameter 8 mm pada bunsen burner dengan variasi ekuivalen rasio



Gambar 4.3 Nyala api variasi diameter pada *bunsen burner* dengan ekuivalen rasio 1,68

Gambar 4.2 menunjukkan hasil nyala api dengan *bunsen burner* dengan diameter 8 mm dengan variasi ekuivalen rasio adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran. Gambar 4.3 diatas menunjukkan visualisasi nyala api dengan menggunakan *software ansys* dengan variasi diameter pada *bunsen burner* dengan ekuivalen rasio 1,68.

Data hasil simulasi:

Tabel 4.7

Tabel Data Bunsen Burner diameter 8 mm

Parameter	$\Phi=0,56$	$\Phi=0,67$	$\Phi=0,74$	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	9	10	13	25	20	11,8	10
Tinggi api(mm)	18,08	9,74	20,2	9,21	10,37	24	24,92

Tabel 4.8

Tabel Data Bunsen Burner Diameter 9 mm

Parameter	$\Phi=0,56$	$\Phi=0,67$	$\Phi=0,74$	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	13	13	15	29	24	14,47	13
Tinggi api(mm)	15,5	17,23	17,96	8,64	9,84	21	22,05

Tabel 4.9

Tabel Data Bunsen Burner Diameter 10 mm

Parameter	$\Phi=0,56$	$\Phi=0,67$	$\Phi=0,74$	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	15	16	16	31	25	17,57	15
Tinggi api(mm)	14,68	15,45	16,47	8,07	9,38	20	21

Tabel 4.10

Tabel Data Bunsen Burner Diameter 11 mm

Parameter	$\Phi=0,56$	$\Phi=0,67$	$\Phi=0,74$	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	17	18	18	34	26	20,05	15
Tinggi api(mm)	12,13	13,88	13,99	7,64	8,99	16	20,09

Tabel 4.11

Tabel Data Bunsen Burner Diameter 12 mm

Parameter	$\Phi=0,56$	$\Phi=0,67$	$\Phi=0,74$	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
$\alpha(^{\circ})$	18	19	21	35	30	21	16
Tinggi api(mm)	10,94	10,95	11	6,57	7,94	15	20,05

Berdasarkan Tabel 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 dan 4.11 diatas dapat menunjukkan kecenderungan dari nilai sudut api yang mengalami peningkatan pada saat ukuran diameter dari *bunsen burner* semakin besar dan sudut api yang mengalami peningkatan paling besar pada saat keadaan ekuivalen = 1, Tinggi api mengalami penurunan pada saat ukuran diameter bunsen burner semakin besar dan nilai tinggi yang tertinggi pada saat ekuivalen = 1.

Tabel 4.12

Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api Secara Simulasi Masing-masing Variasi Diameter *Bunsen Burner*

D Burner (mm)	Parameter	$\Phi=0,56$	$\Phi=0,67$	$\Phi=0,74$	$\Phi=1,0$	$\Phi=1,36$	$\Phi=1,49$	$\Phi=1,68$
8	T ($^{\circ}\text{C}$)	1551	1687	1820	1893	1761	1733	1717
	S_L (cm/s)	Flashback	Flashback	28,73	53,97	43,68	26,11	22,17
	Tinggi api (mm)	Flashback	Flashback	20,2	9,21	10,37	24	24,92
9	T ($^{\circ}\text{C}$)	1536	1675	1792	1877	1739	1701	1701
	S_L (cm/s)	Flashback	Flashback	26,11	48,92	41,04	25,21	22,70
	Tinggi api (mm)	Flashback	Flashback	17,96	8,64	9,84	21	22,05
10	T ($^{\circ}\text{C}$)	1525	1663	1761	1853	1698	1698	1604
	S_L (cm/s)	Flashback	Flashback	22,53	42,09	34,54	24,67	21,15
	Tinggi api (mm)	Flashback	Flashback	16,47	8,07	9,38	20	20,09
11	T ($^{\circ}\text{C}$)	1513	1627	1760	1846	1675	1653	1574
	S_L (cm/s)	Flashback	Flashback	20,87	37,77	29,61	23,16	18,62
	Tinggi api (mm)	Flashback	Flashback	13,99	7,64	8,99	16	16,53
12	T ($^{\circ}\text{C}$)	1482	1575	1739	1834	1604	1595	1561
	S_L (cm/s)	Flashback	Flashback	20,34	32,55	28,38	20,34	15,64
	Tinggi api (mm)	Flashback	Flashback	11	6,57	7,94	15	15,34

Tabel 4.13
Verifikasi Data Simulasi Numerik

1. Ekuivalen rasio = 1,0

Jenis Pemandangan	Hasil Eksperimental			Hasil Simulasi Numerik		
	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)
8 mm	1285,33	47,18	11,88	1893	53,97	9,21
9 mm	1234,33	45,85	10,4	1877	48,92	8,64
10 mm	1221,33	45,20	9,23	1853	42,09	8,07
11 mm	1210	44,41	8,29	1846	37,77	7,64
12 mm	Flashback	Flashback	Flashback	1834	32,55	6,57

2. Ekuivalen rasio = 1,36

Jenis Pemandangan	Hasil Eksperimental			Hasil Simulasi Numerik		
	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)
8 mm	1230,67	24,89	18	1770	43,68	10,37
9 mm	1191,33	23,69	16,54	1744	41,04	9,84
10 mm	1163,67	22,34	15,4	1698	34,54	9,38
11 mm	1143	21,75	14,05	1665	29,61	8,99
12 mm	1134,33	20,66	13,26	1602	28,38	7,94

3. Ekuivalen rasio = 1,49

Jenis Pemandangan	Hasil Eksperimental			Hasil Simulasi Numerik		
	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)
8 mm	1205,67	14,70	26,06	1733	26,11	24
9 mm	1181	13,77	24,06	1708	25,21	21
10 mm	1154	13,22	22,07	1698	24,67	20
11 mm	1119,67	12,42	20,34	1653	23,16	16
12 mm	1125,67	11,89	18,81	1595	20,34	15

4. Ekuivalen rasio = 1,68

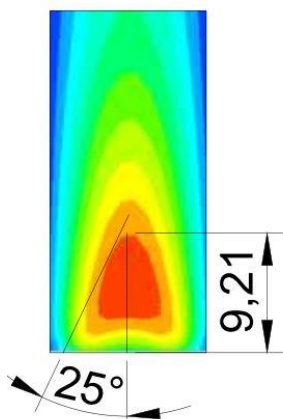
Jenis Pemandangan	Hasil Eksperimental			Hasil Simulasi Numerik		
	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)	T (°C)	S _L (cm/s)	Tinggi api (mm)
8 mm	1178,67	10,37	29,79	1717	22,17	24,92
9 mm	1165,67	9,93	27,64	1701	22,70	22,05
10 mm	1136,33	9,53	25,16	1604	21,15	20,09
11 mm	1109,33	9,42	23,31	1574	18,62	16,53
12 mm	1104	9,01	22,19	1561	15,64	15,34

Dari Tabel 4.6, 4.12 dan 4.13 diatas dapat disimpulkan bahwa setelah melakukan verifikasi, data hasil simulasi numerik dapat dinyatakan valid dikarenakan data hasil simulasi memiliki trendline yang sama dengan data eksperimental.

4.2 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

4.2.1 Pengolahan Data Visual

Data visual yang didapatkan pada penelitian ini dengan variasi ukuran diameter *bunsen burner* dengan menggunakan simulasi ansys workbenchs 18.1 kemudian diolah dengan *software* CAD menyesuaikan ukuran gambar api sesuai hasil eksperimental. Pada *software* CAD didapatkan nilai dari tinggi dan sudut api, untuk memperoleh kecepatan api laminar (S_L), untuk lebih lengkapnya dari pengukuran variasi diameter dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4.4 Pengolahan data karakteristik nyala api *bunsen burner* pada diameter 8 mm dengan ekuivalen rasio 1,0

Dari Gambar 4.4 tersebut didapatkan sudut api yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan api laminar dengan persamaan (2-2) yang mana kecepatan reaktannya dapat dicari dari rumus (2-3).

4.2.2 Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api

Nilai kecepatan aliran api laminar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2), kemudian hasil perhitungan dengan variasi ekuivalen rasio dan ukuran diameter dapat menunjukkan karakteristik nyala api yang nantinya akan diperoleh hasil dari nilai temperatur, tinggi api dan kecepatan api laminar.

Dibawah ini adalah contoh perhitungan kecepatan reaktan dengan diameter 10 mm pada *bunsen burner* pada nilai ekuivalen rasio 1,68. Persamaan (2-3) digunakan untuk menghitung kecepatan reaktan.

$$Q_{BB} = 0.45 \text{ L/min}$$

$$Q_{udara} = 3,4 \text{ L/min}$$

$$A_b = 0.785 \text{ cm}^2$$

Sehingga dapat dihitung nilai kecepatan reaktan pada *burner* dengan nilai ekuivalen rasio 1.69 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{BB} &= 0.45 \frac{L}{min} = \frac{L}{min} \rightarrow \frac{cm^3}{s} \\ &= \frac{0.45 \times 1000}{60} = 7.5 \text{ cm}^3/s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{udara} &= 3.4 \frac{L}{min} = \frac{L}{min} \rightarrow \frac{cm^3}{s} \\ &= \frac{3.4 \times 1000}{60} = 56.67 \frac{cm^3}{s} \end{aligned}$$

Setelah menghitung nilai debit aliran bahan bakar dan udara, maka menghitung kecepatan reaktan dengan menggunakan persamaan (2-3).

$$v = \frac{7.5 \text{ cm}^3/s + 56.67 \text{ cm}^3/s}{0.785 \text{ cm}^2}$$

$$v = 81.74 \text{ cm/s}$$

Selanjutnya, setelah menghitung kecepatan reaktan, maka dapat dihitung besarnya kecepatan api laminar dengan menggunakan persamaan (2-2). Berikut adalah perhitungan nilai kecepatan api laminar *bunsen burner* dengan diameter 11 mm pada nilai ekuivalen rasio 1.0.

$$S_L = v \sin \alpha$$

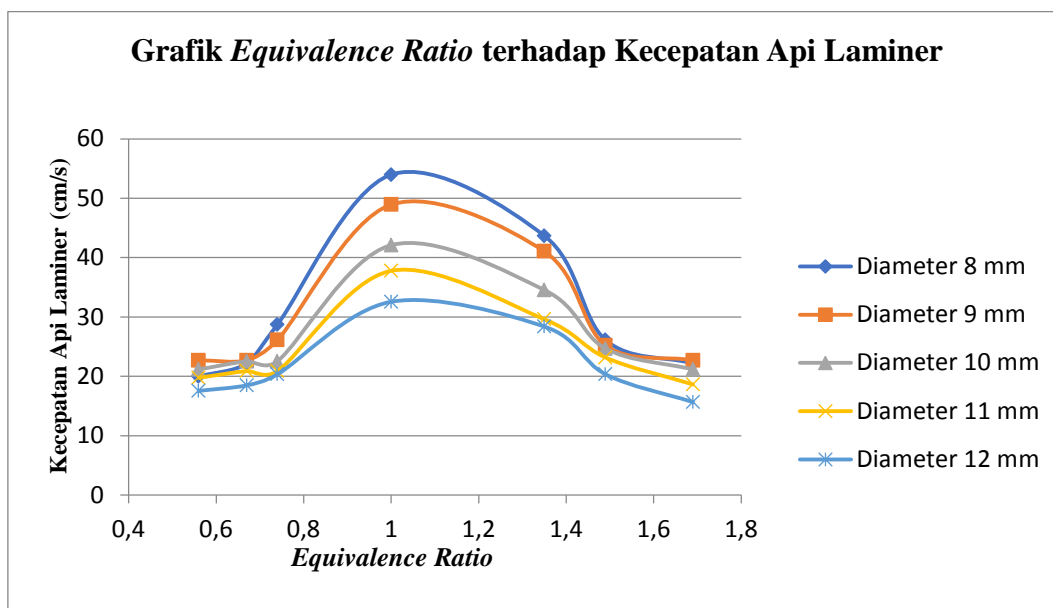
$$S_L = 81.74 \text{ cm/s} \cdot \sin 18.5$$

$$S_L = 81.74 \text{ cm/s} \times 0.31$$

$$S_L = 25.33 \text{ cm/s}$$

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pembahasan Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Kecepatan Api Laminer



Gambar 4.5 Hubungan ekuivalen rasio terhadap kecepatan api laminar

Gambar 4.5 diatas menjelaskan pengaruh ekuivalen rasio terhadap kecepatan api laminar. Yang mana variasi ukuran diameter dibandingkan dengan nilai ekuivalen rasio antara lain 0,56; 0,67; 0,74; 1,0; 1,36; 1,49; dan 1,68.

Nilai kecepatan api laminar *bunsen burner* cenderung menurun seiring dengan besarnya ukuran diameter *bunsen burner*. Pada grafik diatas dapat diketahui urutan nilai variasi ukuran diameter *bunsen burner* yang memiliki kecepatan api laminar dari yang paling tinggi ke rendah adalah diameter 8 mm, diameter 9 mm, diameter 10 mm, diameter 11 mm dan diameter 12 mm.

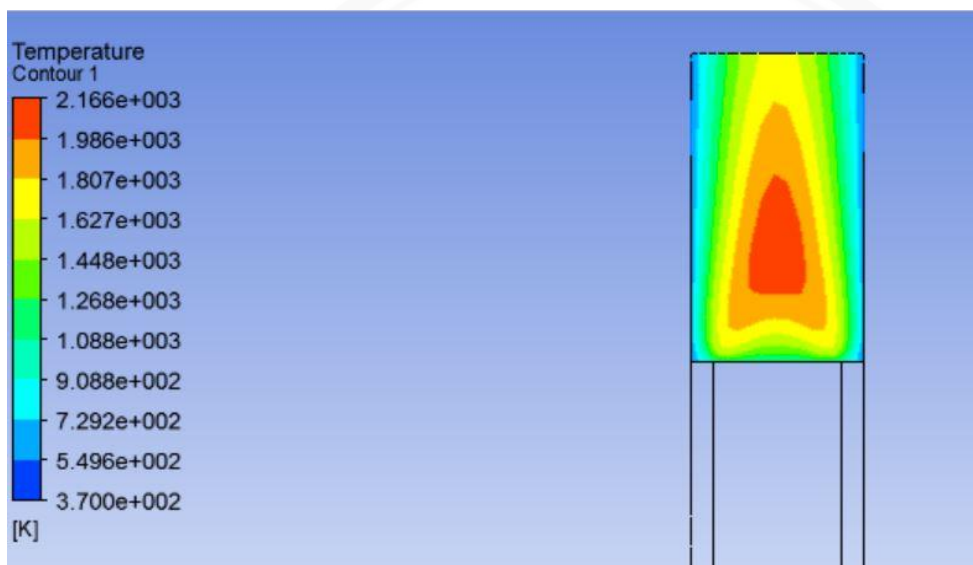
Berdasarkan persamaan kecepatan api laminar, kecepatan api laminar dipengaruhi oleh 2 parameter yaitu kecepatan reaktan dan sudut api dimana keduanya berbanding lurus terhadap kecepatan api laminar. Dari persamaan kecepatan reaktan, ukuran diameter *bunsen burner* akan mempengaruhi kecepatan reaktan, dimana semakin besar diameter akan menyebabkan luasan lubang mulut *bunsen burner* semakin besar, sehingga kecepatan reaktan semakin menurun. Apabila kecepatan reaktan turun akan menyebabkan kecepatan api laminar akan semakin menurun. Sehingga dengan semakin besar ukuran diameter *bunsen burner* menyebabkan kecepatan api laminernya semakin menurun.

Pada gambar 4.5, dapat dilihat bahwa dengan semakin besar nilai ekuivalen rasio maka kecepatan api laminernya akan semakin turun begitupun dengan ekuivalen menjauhi 1. Hal ini disebabkan debit udara yang semakin kecil. Nilai ekuivalen rasio merupakan perbandingan antara AFR stokiometri dengan AFR aktual, dimana nilai AFR stoikiometri

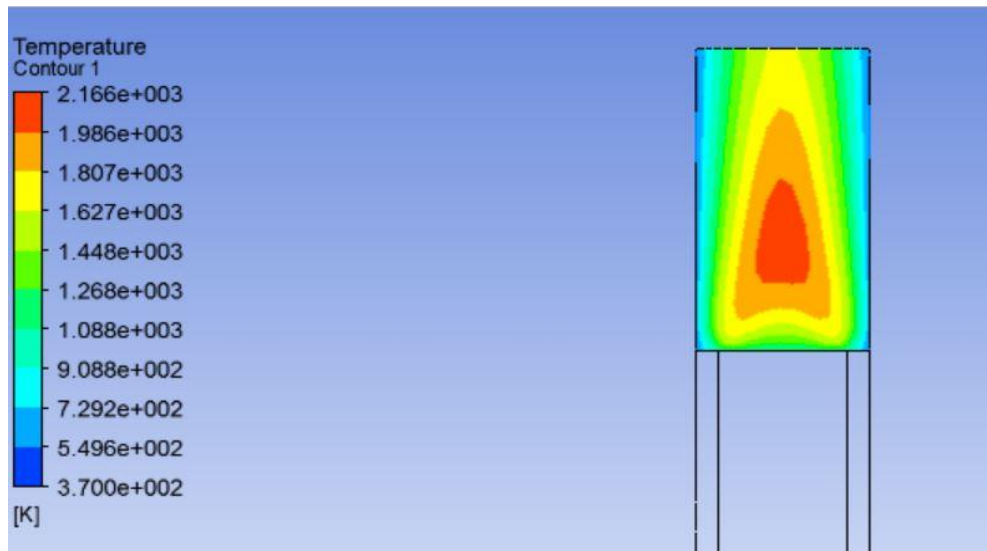
tetap dan nilai AFR aktual semakin turun, maka nilai ekuivalen rasio akan semakin meningkat. Adapun nilai AFR dipengaruhi oleh massa bahan bakar dan udara. Apabila massa bahan bakar adalah tetap, maka nilai AFR aktual turun disebabkan oleh massa udara yang semakin menurun. Dengan menggunakan massa, dapat diketahui volume dan selanjutnya dapat digunakan untuk mencari nilai debit aliran, dimana massa, volume, dan debit adalah berbanding lurus. Maka dengan menurunnya debit udara, akan menyebabkan menurunnya kecepatan reaktan sehingga kecepatan api laminernya pun semakin menurun.

4.3.2 Pembahasan Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Temperatur Api

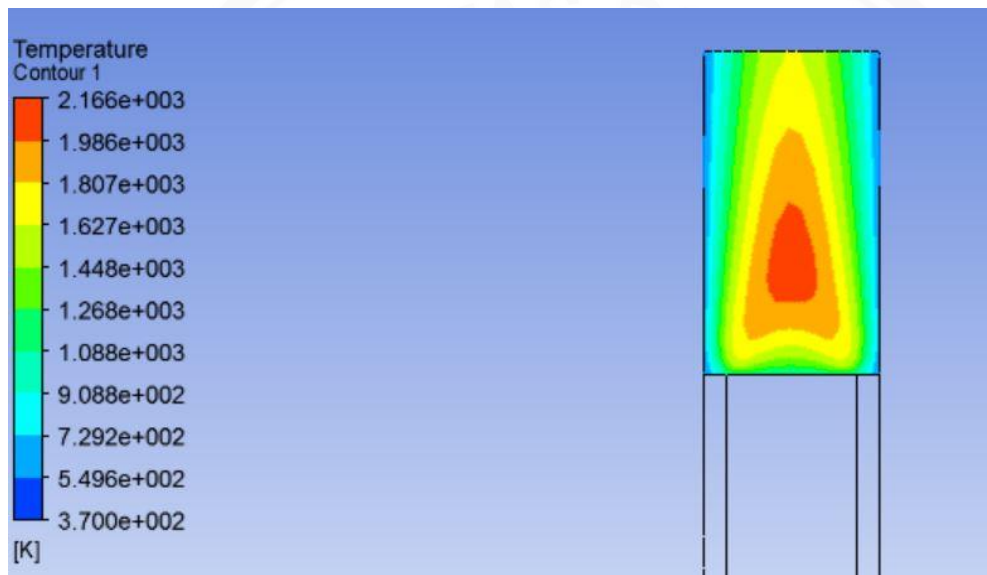
Data hasil simulasi:



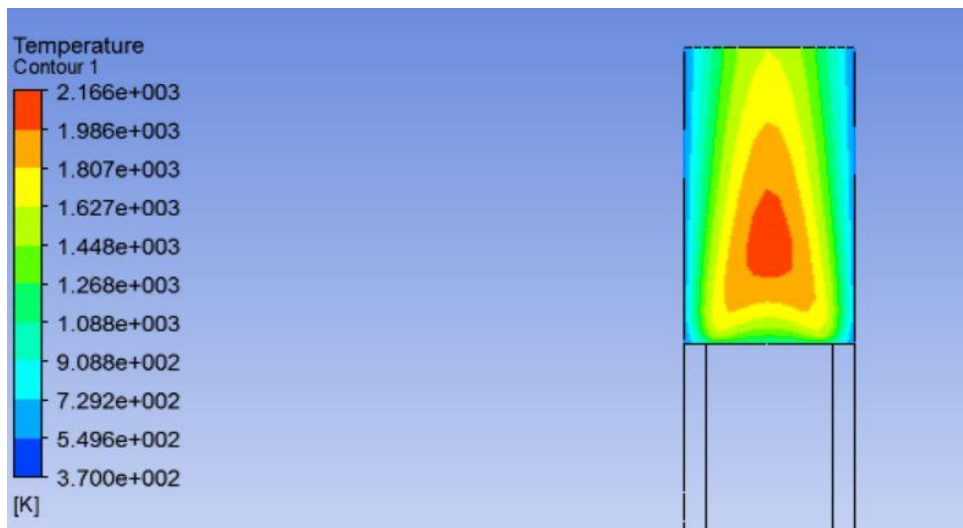
Gambar 4.6 Range temperatur diameter 8 mm ekuivalen rasio 0,74



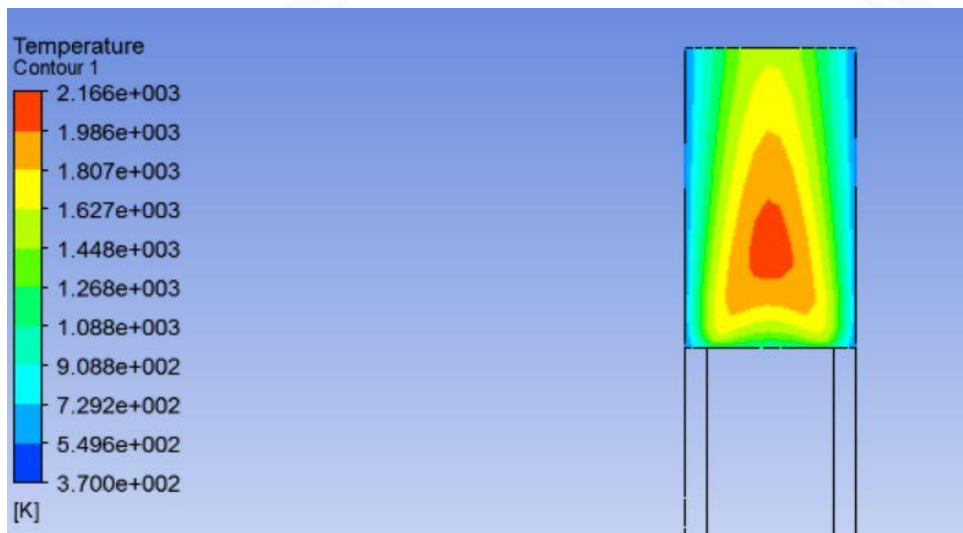
Gambar 4.7 Range temperatur diameter 9 mm ekuivalen rasio 0,74



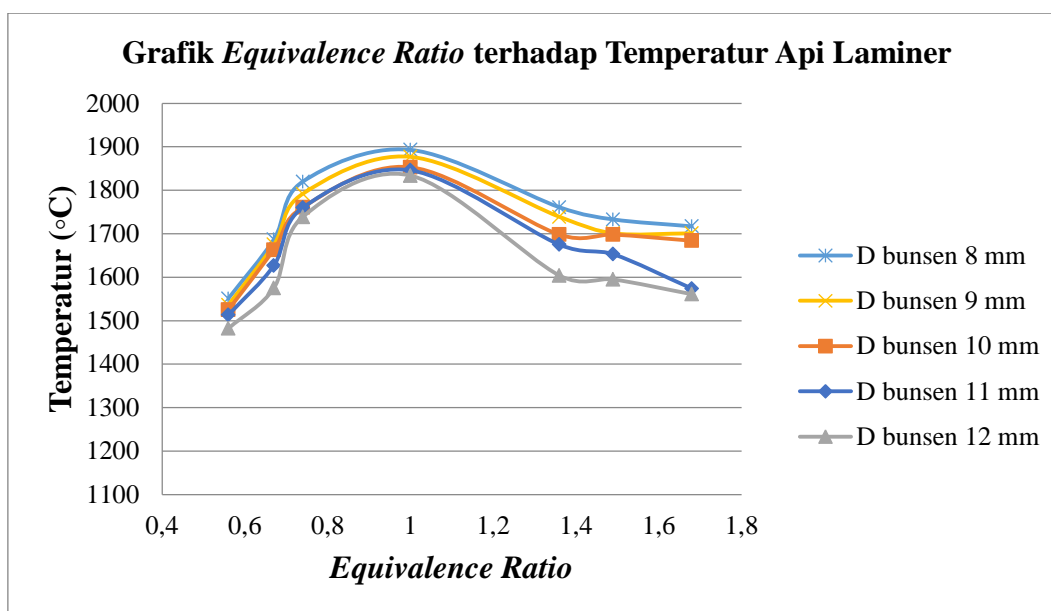
Gambar 4.8 Range temperatur diameter 9 mm ekuivalen rasio 0,74



Gambar 4.9 Range temperatur diameter 11 mm ekuivalen rasio 0,74



Gambar 4.10 Range temperatur diameter 9 mm ekuivalen rasio 1,35



Gambar 4.11 Hubungan ekuivalen rasio terhadap temperatur atas api laminar

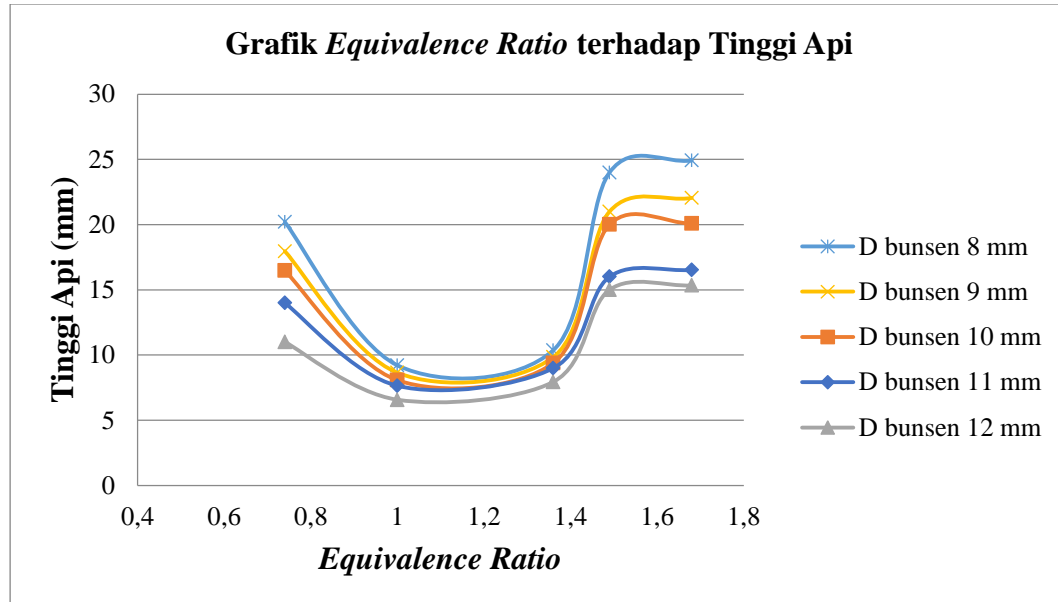
Pada Gambar 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 adalah hasil simulasi untuk temperatur api. Gambar 4.11 menjelaskan grafik hubungan ekuivalen rasio terhadap temperatur api laminar pada setiap variasi ukuran diameter *bunsen burner*. Pada grafik tersebut menyajikan kecenderungan data temperatur untuk masing-masing diameter *bunsen burner* yaitu temperatur yang mana semakin besar ukuran diameter *bunsen burner* dan nilai ekuivalen rasio akan menyebabkan temperatur akan semakin turun.

Semakin besar ukuran diameter *bunsen burner* akan menyebabkan temperatur api akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh temperatur produk merupakan energi kinetik dari produk pembakaran tersebut sehingga hubungan kecepatan api laminar dengan temperatur api adalah berbanding lurus. Semakin besar ukuran diameter lubang *bunsen burner* akan menyebabkan kecepatan reaktan akan semakin menurun. Adapun semakin kecil kecepatan reaktan akan menyebabkan nilai kecepatan api laminar menurun dikarenakan pengaruh kecepatan reaktan lebih dominan terhadap kecepatan api dibandingkan pengaruh sudut api. Sehingga dengan meningkatnya ukuran diameter *bunsen burner* akan menyebabkan kecepatan reaktan semakin turun, kecepatan api akan menurun dan temperatur api menurun.

Berdasarkan nilai ekuivalen rasio, dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai ekuivalen rasio maka temperatur akan semakin rendah, namun dengan ekuivalen kurang dari 1 nilai dari temperatur juga semakin rendah. Hal ini dikarenakan oleh semakin besar nilai ekuivalen rasio ataupun ekuivalen rasio kurang dari 1, campuran semakin tidak sempurna yaitu semakin kaya akan bahan bakar dan miskin udara ataupun sebaliknya. Maka semakin sedikit udara dan kaya akan bahan bakar, atau semakin banyak udara dan

miskin bahan bakar dalam reaktan akan membuat reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga akan menyebabkan temperatur api akan semakin menurun.

4.3.3 Pembahasan Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Tinggi Api



Gambar 4.12 Hubungan ekuivalen rasio terhadap tinggi api

Pada Gambar 4.12 diatas menunjukkan grafik hubungan ekuivalen rasio terhadap tinggi api laminar pada berbagai variasi diameter *bunsen burner*. Dapat diketahui untuk urutan nilai variasi ukuran diameter *bunsen burner* yang memiliki tinggi api dari yang paling tinggi ke rendah adalah 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm dan yang paling rendah adalah 12 mm.

Semakin kecil ukuran diameter *bunsen burner*, tinggi api yang terjadi adalah semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh semakin kecil ukuran diameter *bunsen burner* akan menyebabkan nilai kecepatan reaktan akan semakin besar, dimana kecepatan reaktan yang lebih tinggi daripada kecepatan pembakaran akan menyebabkan terjadinya pemanjangan api. Sehingga semakin kecil diameter, kecepatan reaktan akan semakin besar, akibatnya akan membuat tinggi api semakin tinggi.

Berdasarkan nilai ekuivalen rasio menjauhi 1 maka tinggi api akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin besar nilai ekuivalen rasio maka kadar bahan bakar dalam reaktan akan semakin besar. Semakin besar kandungan bahan bakar dan semakin sedikit kandungan udara dalam reaktan akan mempengaruhi tinggi api. Semakin bertambahnya kandungan bahan bakar akan menyebabkan bahan bakar tidak terbakar secara sempurna sehingga sisa bahan bakar yang belum terbakar akan bereaksi secara difusi yang menyebabkan api menjadi lebih tinggi begitupun sebaliknya. Disamping itu, semakin kurang sempurna

proses pembakaran akan menyebabkan penurunan temperatur yang akan mengakibatkan reaksi pembakaran semakin melambat kemudian pada ekuivalen rasio 0,67 dan 0,56 terjadi fenomena *flashback*.





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini berhasil menarik kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah. Adapun kesimpulannya adalah:

1. Nilai kecepatan api laminar (S_L) dipengaruhi oleh diameter, semakin besar ukuran diameter maka nilai kecepatan api laminernya akan semakin menurun. Hal ini disebabkan ukuran diameter yang semakin besar dapat menghasilkan nilai kecepatan api laminar yang rendah sehingga kecepatan api laminernya ikut menurun.
2. Pada nilai tinggi api mengalami penurunan ketika ukuran diameter yang semakin besar karena kecepatan reaktan yang semakin rendah yang disebabkan kenaikan ukuran diameter.
3. Pada nilai temperatur semakin menurun karena kecepatan api yang semakin rendah seiring bertambahnya ukuran diameter.
4. Nilai ekuivalen rasio mempengaruhi tinggi api, nilai ekuivalen rasio menjauhi 1 atau stokiometri maka tinggi api juga meningkat, kecepatan api laminar dan temperatur mengalami penurunan.

5.2 Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya menggunakan aplikasi Chemkin agar hasilnya lebih akurat dan presisi.
2. Penelitian lebih dikembangkan agar dapat memperoleh ilmu baru tentang simulasi pembakaran, untuk dapat digunakan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bouvet, N. Et al. 2011. *Characterization of Syngas Laminar Flames Using The Bunsen Burner Configuration*. International journal of hydrogen energy 36: 992-1005.
- Chris, Janwar. 2016. *Karakteristik Visualisasi Nyala Api pada Bunsen Burner dan Slot Burner dengan Bahan Bakar LPG (Liquefied Petroleum Gas)*. Malang: Teknik Mesin FT Universitas Brawijaya.
- Eddings, Eric G. 2006. *Mechanical Engineers Handbook: Energy and Power, Volume 4, Third Edition*. Departement of Chemical Engineering University of Utah: Utah.
- El-Mahallawy, F. 2002. *Fundamentals and Technology of Combustion*. Oxford. United Kingdom: Elsevier Inc.
- Glassman. 2008. *Combustion Fourth Edition*. Oxford. United Kingdom: Elsevier Inc.
- Januar H, Afan. 2015. *Efek Penurunan Kadar CO₂ pada Biogas dengan Absorpsi Koh terhadap Kecepatan Rambat Api*. Skripsi Program Sarjana FT Universitas Jember: tidak diterbitkan.
- La Muhaya, Syamsul Bahri, Wardana, I.N.G. Widhiyanuriyawan, Denny. 2015. *Pembakaran Premixed Minyak Nabati pada Bunsen Burner Tipe Silinder*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.6: 45-50.
- Nugraha, Dimas Aditya. 2016. *Karakteristik Nyala Api pada Bunsen Burner dan Slot Burner dengan Bahan Bakar Metana*. Malang: Teknik Mesin FT Universitas Brawijaya.
- Tamaddonfar P, Gulder O.L. 2015. *Effect of Burner Diameter on The Burning Velocity of Premixed Turbulent Flames Stabilized on Bunsen-Type Burners*. Experimental Thermal and Fluid Science 73 (2016) 42-48.
- Turn, S.R 2010. *An Introduction to Combustion, Concept and Application*. Pennsylvania: McGrawHill.
- Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Dinar Wijaya. Brawijaya University Press: Malang.
- Yong He, et all. 2014. *Investigation of Laminar Flame Seeds of Typical Syngas Using Laser Based Bunsen Methods and Kinetic Simulation*. Fuel 95 (2012) 206-213.
- Zhen, H.S, et al. 2014. *Characterization of Biogas-Hydrogen Premixed Flames Using Bunsen Burner*. International journal of hydrogen energy 39: 13292-13299.
- Zhen, H.S, et al. 2016. *A Study on The Effects of Air Preheat on The Combustion and Heat Transfer Characteristics of Bunsen Flames*. Elsevier. Fuel 184: 50-58.